



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“CONTROL DE EFECTOS EXPLOSIVOS:  
CASO DE APLICACIÓN PROYECTO  
HIDROELÉCTRICO EL CAJON”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

*P R E S E N T A:*

***MIGUEL ANTONIO AMAYA MEZA***



**DIRECTOR DE TESIS: Ing. Luis Zarate Rocha**

**MÉXICO, D. F.**

**MAYO 2005**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recacional.

NOMBRE: Miguel Antonio

Amaya Meza

FECHA: 31 - MAYO - 05

FIRMA: [Signature]

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/074/04

Señor  
MIGUEL ANTONIO AMAYA MEZA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. LUIS ZÁRATE ROCHA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"CONTROL DE EFECTOS EXPLOSIVOS: CASO DE APLICACIÓN "PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL CAJÓN"**

- INTRODUCCIÓN
- I. MARCO TEÓRICO
- II. GENERALIDADES DEL "PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL CAJÓN"
- III. ALTERNATIVAS DE USO DE EXPLOSIVOS
- IV. PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN "EL CAJÓN"
- V. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 25 de Junio del 2004.  
EL DIRECTOR

[Signature]  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/crc.

VoBo  
[Signature]  
Luis Zárate  
-2005

VoBo  
[Signature]  
4 abril 2005  
Carlos M. Charvatt

Yo. Bo.  
[Signature]  
14/06/05

Vo.Bo.  
[Signature]  
Alba B. Vázquez González

Vo Bo  
04/04/05  
[Signature]  
A Deméneghi C

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>Marco Teórico</b> .....	<b>4</b>
I.I Antecedentes Históricos.....	4
I.II Clasificación de los explosivos.....	6
I.III Diseño de voladuras.....	14
I.IV Almacenamiento y Normatividad en el uso de explosivos.....	28
<b>CAPITULO II</b>	
<b>II Generalidades del “Proyecto Hidrológico el Cajón”</b> .....	<b>32</b>
II.I Información técnica del proyecto.....	32
II.II Localización.....	35
II.III Datos principales.....	36
<b>CAPITULO III</b>	
<b>III Alternativas de Uso de Explosivos</b> .....	<b>39</b>
III.I Efectos y controles de vibración y ruido en voladuras a cielo Abierto.....	39
III.II Pronóstico de Efectos.....	45
III.III Estudio de monitoreo sísmico realizado en el P. H. El Cajón y sus Implicaciones en las Estructuras Definitivas Tepic- Nayarit.....	46
III.IV Resumen de Monitoreo de voladuras.....	55
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>IV Procedimiento Utilizado en el “Proyecto Hidrológico el Cajón”</b> .....	<b>58</b>
IV.I Resultados del estudio de Control de Efectos.....	58
IV.II Recomendaciones del uso de explosivos. Pilas y Muros de Concreto en Obra de Excedencias, P .H. El Cajón.....	64
<b>Conclusiones</b> .....	<b>66</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La vibración de cualquier material es la oscilación de las partículas en torno a su posición de equilibrio. En roca, la velocidad, periodo, amplitud y frecuencia de oscilación, pueden determinar si esta sufrirá daño o colapsará. Con la medición de las vibraciones generadas por voladuras en puntos cercanos a ella, se puede estimar la posibilidad de daño que este punto puede sufrir. Adicionalmente es posible relacionar esta vibración con las variables que intervienen en el proceso de voladura, pudiendo usar para prevenir las vibraciones producidas por las voladuras siguientes. El monitoreo de vibración por voladura puede ser utilizado como herramienta de diagnóstico de esta; en efecto, una adecuada interpretación de los registros permite determinar el grado de interacción entre las variables de una voladura.

De un análisis de un registro de vibración, es posible determinar en otro, lo siguiente: cargas, detonando en una secuencia de encendido dada; dispersión en los tiempos de encendido de los retardos, detonación de cargas adyacentes por simpatía y cuantificación de los niveles de velocidad y desplazamiento de partícula de roca.

Otro aporte importante de empleo de esta técnica, es el de obtener los niveles de vibración absolutos, para cada una de las cargas explosivas, las que asociadas a las distancias en que se registra la detonación conforman una buena base de datos que permite construir modelos confiables de vibración, con los cuales se pueden evaluar diferentes modificaciones a los distintos parámetros de la voladura, tales como tipo y cantidad de explosivo según distancia y evaluar el daño potencial que esa vibración puede producir.

Las vibraciones generadas por una voladura y el conocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, permiten estimar la posibilidad de ocasionar daño. Los altos niveles de vibración pueden dañar la roca. Produciendo fracturas nuevas o extendiendo y dilatando fracturas existentes. Bajo este contexto puede ser considerada como un esfuerzo de deformación del macizo.

El uso de explosivos es motivo de estudios sumamente especializados de varias decenas de horas e inclusive en algunos países de estudios de posgrado. El alcance de este trabajo es a nivel introductorio y servirá para crear una visión global básica.

Sin duda el avance que se tenga dentro de este ámbito y el buen empleo de las técnicas de aplicación dará un mayor beneficio, los temas que no se tienen que olvidar son:

las normas de control y los diferentes tipos de explosivos que existen así como su funcionamiento, el manejo de estos materiales, los sistemas de iniciación, el diseño de voladuras, efecto sobre estructuras, equipos de medición, los aspectos

ambientales y casos especiales de aplicación que muestren las técnicas más actuales en el uso de los explosivos.

En el proyecto hidroeléctrico “ EL CAJON “ es el mejor ejemplo en donde los explosivos tienen un papel primordial para la construcción de tan importante proyecto, los explosivos y las técnicas recientes de aplicación brindaron la posibilidad de desarrollar esta presa tan importante. El objetivo de este trabajo es dar una serie de recomendaciones para el uso de explosivos y pretende explicar lo importante que es en una obra como esta el control de efectos explosivos.

Ya que es imposible conocer al cien por ciento el comportamiento de la roca en una voladura, ya sea porque la roca misma presenta una serie de complicaciones para realizar los barrenos, ya sea por la estratificación de la misma, que hace un cuanto difícil obtener las verdaderas condiciones de diseño o por el cargado de barrenos que de esto depende casi en su totalidad que una voladura sea llevada a cabo exitosamente.

Con el avance tecnológico se incrementa la utilización de explosivos y por lo tanto se debe de incrementar el estudio del Control de Efectos de los explosivos ya que es de vital importancia el conocer estos efectos, para que así no sea contraproducente la aplicación de estos. Se debe garantizar la seguridad de todas las personas que trabajan en el sitio y del equipo mismo, por eso es que se tiene que acudir a las técnicas más modernas en voladuras ya que sin duda con esto se logra un buen trabajo a muy bajo costo.

Al término de este trabajo se indica la bibliografía para la integración de estas notas, para que los lectores que así lo deseen puedan consultar con mayor detalle los temas de su interés.

## **CAPITULO I MARCO TEORICO**

### **I.I ANTECEDENTES HISTORICOS**

Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química y que son capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión como en el caso de la pólvora o por causa de un golpe, impacto, fricción, etc. en cuyo caso recibe el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio.

Cuando esta violenta transformación en gases ocurre en un lugar cerrado, como puede ser un barreno en un manto de roca, se producen presiones muy elevadas que fracturan la roca.

La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre. Se cree que los descubridores de la pólvora fueron los chinos, pero su uso se limitó exclusivamente a exhibiciones pirotécnicas con las que iluminaban sus celebraciones.

Más tarde, en Europa fue Bacon el que publicó una fórmula de la pólvora con instrucciones detalladas para su fabricación, poco después, y hasta la fecha, se usó en armas de fuego.

El mismo Hernán Cortés se surtía de pólvora fabricándola con carbón vegetal, azufre recogido en cráteres de nuestros volcanes y con salitre de las orillas de los lagos.

Posteriormente se substituye el salitre por clorato de potasio, lo que la hizo más potente y más tarde con nitrato de sodio conocido como Nitro de Chile, pues abunda en ese país.

Hacia el 1850 Sobrero descubrió la Nitroglicerina, explosivo muy potente, pero muy sensible, es decir estalla con cualquier pequeño golpe lo que la hace peligrosa. Se utilizó en voladuras para sustituir a la pólvora pero su uso se limitó por la peligrosidad.

Entonces apareció Alfredo Nobel que inventó la dinamita Nitroglicerina que no es otra cosa que Nitroglicerina mezclada con una sustancia inerte como puede ser una tierra dictomacea (para fijar ideas puede ser un polvo de ladrillo).

De la proporción de Nitroglicerina y material inerte depende su poder explosivo, el porcentaje de Nitroglicerina representa la fuerza relativa del explosivo.

También inventó las primeras dinamitas Gelatinas y disolver algodón colodión en Nitroglicerina.

Durante los últimos 50 años, el Nitrato de Amonio ha desempeñado un papel cada vez más importante en los explosivos. Se usó primeramente como ingrediente de la dinamita.

Las principales ventajas de los hidrogeles eran su economía, alta densidad de carga y desempeño, baja sensibilidad de impacto, ausencia de ingredientes que causan dolores de cabeza y algo importantísimo su resistencia al agua.

En 1958, DuPont empieza la fabricación de hidrogeles empacados en bolsas, las primeras formulaciones no eran sensibles a fulminantes regulares y no se propagarían seguramente en barrenos de diámetro pequeño sin el uso de

sensibilizadores explosivos. En este mismo año cuando, en Mesabi Range, Minnesota, dicho producto es bombeado dentro de barrenos de diámetro grande usando camiones a granel.

Asimismo, se desarrollan conectores de retardo para cordón detonante, que proporcionan una demora bastante precisa del cordón detonante. En 1969 DuPont patentó el sensibilizador que proporciona a los hidrogeles la sensibilidad requerida para ser iniciados con un fulminante de potencia 6, en cartuchos de 2,22 cm (7/8”) de diámetro, a temperaturas normales. En 1976 se introducen fulminantes de retardo no eléctrico, los cuales proporcionan mejoras en la regulación del orden de encendido y también redujeron en forma considerable los niveles de ruido, es en esta época cuando se desarrollan también los explosivos emulsionados.

En el mercado actual de los explosivos no solo se realizan amplias investigaciones, orientadas a obtener poderosas cargas de energía, que sirvan para construir un mundo moderno, con reglamentos gubernamentales más estrictos, inquietud pública en el ámbito de seguridad, ruido y vibraciones, si no también se investiga en productos que van siendo perfeccionados día con día en sus composiciones tanto químicas como físicas, con el objetivo primordial de encontrar la excelencia, en el renglón de seguridad, en el manejo y uso de explosivos, para todos y cada uno de los protagonistas en el desarrollo de las actividades constructivas y extractivas de un país como México.

## **I.II CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS**

Los ingredientes usados en la fabricación de explosivos se definen como: explosivos bases, oxidantes, antiácidos y absorbentes. Un explosivo base es un sólido o líquido que bajo la acción de suficiente calor o impacto se transforma en un producto gaseoso con acompañamiento de energía calorífica. Los combustibles y oxidantes se agregan para lograr el balance del oxígeno.

Un antiácido se agrega para incrementar la estabilidad en almacenaje y un absorbente se agrega para absorber o proteger los explosivos bases.

Un agente explosivo es cualquier material o mezcla compuesto por un combustible y un oxidante de tal modo que ningún de sus ingredientes sea explosivo base.

### **Cordón detonante Non-electric. (NONEL)**

Este es un cordón detonante muy útil para voladuras subterráneas pues se eliminan las fallas por electricidad estática. También se usa en voladuras a cielo abierto para evitar vibraciones detonando barreno por barreno al igual que el cordón detonante y en zonas altas donde se quieren tormentas eléctricas.

El NONEL detona en una sola dirección por lo que hay que tener cuidado en su acoplamiento, también existen conectores especiales de retardo constituidos por el mismo tubo de NONEL en longitudes de 2 pies con terminales de plástico. El NONEL tiene una gran resistencia al agua ya que un extremo está sellado contra la cápsula de detonación y el otro está sellado contra una Terminal de plástico.

Cada explosivo tiene características específicas definidas por sus propiedades, el conocimiento de estas propiedades es un factor importante para el buen diseño de voladuras, además permiten elegir el más adecuado de ellos para algún caso específico

### ***Fuerza.***

La fuerza suele considerarse como la capacidad de trabajo útil de un explosivo. También suele llamarse potencia y se originó de los primeros métodos para clasificar los grados de las dinamitas. Las dinamitas puras o nitroglicéricas, fueron medidas por el porcentaje de nitroglicerina en peso que contenía cada cartucho, por ejemplo, la dinamita nitroglicérica de 40% de fuerza, contiene un 40% de nitroglicerina; una de 60% contiene 60% de nitroglicerina, etc. La fuerza de acción de este tipo de explosivo se toma como base para la comparación de todas las demás dinamitas. Así pues la fuerza de cualquier otra dinamita, expresada en tanto por ciento, indica que estalla con tanta potencia como otra equivalente de dinamita nitroglicérica en igualdad de peso.

Pocas son las personas entre las que usan dinamitas que entienden bien la energía relativa de las dinamitas de diferentes porcentajes de fuerza. Suele creerse que la energía verdadera desarrollada por estas distintas fuerzas guarda proporción directa con los porcentajes marcados. Se cree por ejemplo, que la dinamita de 40%

es dos veces más fuerte que la de 20% y que la de 60% es tres veces más fuerte que la de 20%. Estas relaciones simples son incorrectas debido principalmente a que una nitroglicerina de mayor fuerza ocupa casi el mismo espacio en el barreno pero produce más gases, por lo tanto las presiones son mayores y el explosivo resulta más eficiente.

Esto ha sido mostrado por cuidadosas pruebas de laboratorios cuyos resultados se indican en la siguiente Tabla:

UN CARTUCHO	60%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%
60%	1	1.12	1.2	1.28	1.38	1.5	1.63	1.8	2.08
50%	0.89	1	1.07	1.14	1.23	1.34	1.45	1.6	1.85
45%	0.83	0.93	1	1.07	1.15	1.25	1.36	1.5	1.73
40%	0.78	0.87	0.94	1	1.08	1.17	1.27	1.4	1.53
35%	0.72	0.81	0.87	0.93	1	1.09	1.18	1.3	1.5
30%	0.67	0.75	0.8	0.85	0.92	1	1.09	1.2	1.38
25%	0.61	0.69	0.74	0.78	0.85	0.92	1	1.1	1.27
20%	0.55	0.62	0.67	0.71	0.77	0.83	0.9	1	1.15
15%	0.48	0.54	0.58	0.61	0.76	0.72	0.78	0.86	1

**Tabla I.I Indica el número de cartuchos de determinada fuerza necesarios para igualar un cartucho de diferente fuerza.**

Hay que recordar que dos explosivos no pueden tener exactamente el mismo desempeño aunque sean del mismo tipo debido a que también intervienen las características del material que es volado y el grado de compactación que se dé al explosivo.

**Densidad de empaque.**

La densidad de empaque de los explosivos se expresa como el número de cartuchos por caja de 25 kilogramos (**TABLA I.II**). Para ambos casos hay que tener en cuenta que el número de cartuchos es aproximado y puede haber una variación del 3%.

Este dato es valioso pues permite dosificar los explosivos simplemente contando los cartuchos.

CLASES DE	2.22 x	2.54 x	2.857x	3.175x 20.32cms	5.71x	6.35x	7.62 x
DINAMITA:	20.32cms	20.32cms	20.32cms	(1 1/4x8")	40.64 cms	40.64 cms	40.64cms
	(7/8x8")	(1x8")	(1 1/8x8")		(2 1/4x16")	(2 1/2x16")	(3 x 16")
Dinamita Extra 40%	242	184	151	121	20	14	10
Dinamita Extra 60%	242	184	151	121	20	14	10
Gelatina Extra 30%	193	151	123	98	15	12	8
Gelatina Extra 40%	196	153	126	99	16	12	8
Gelatina Extra 60%	207	164	135	108	16	12	9
Gelamex # 1	236	180	150	121	21	16	11
Gelamex # 2	261	198	165	134	20	16	11
Mexobel 2	---	248	201	165	25	20	14
Duramex G	309	248	204	---	25	20	14

**Tabla I.II Número de cartuchos por caja de 25 Kg. Para las dinamitas comerciales en sus diferentes medidas**

**Densidad (Peso volumétrico)**

Este dato nos sirve, al diseñar un barreno, para estar seguro que el espacio destinado a los explosivos es suficiente para alojar los kilogramos calculados. Se mide en  $\text{gr/cm}^3$ ,  $\text{Kg./lt}$  ó  $\text{Kg/m}^3$ .

La (TABLA I.III) proporciona las densidades de las dinamitas, los agentes explosivos y los hidrogeles más usuales.

DINAMITAS		AGENTES EXPLOSIVOS		HIDRÓGELES	
Gelatina Extra 40%	1.57	"Mexamon" SP	0.81		
60%	1.44	SP-LD	0.7		
75%	1.39			Tovex 100	1.1
Dinamita Extra 40%		"Mexamon" C	0.85		
60%	1.23	C-LD	0.64		
Dinamita Esp. 45%				Tovex 700	1.18
Gelamex No. 1	1.28				
No. 2	1.16	Super "Mexamon" D	0.65	Tovex P	1.2
Gelatina Alta Velocidad					
Geomex 60%	1.47	NA – AC	0.8	Tovex Extra	1.35
Duramex G	1	Anfomex "X"	0.8	Godyne	1.2
Dinamex A	1.23	Anfomex "BD"	0.65		
Toval	1.6				

**Tabla I.III Densidad de explosivos en g/cm.**

Una guía útil para proyectar voladuras es el saber aproximadamente cuantos kilogramos de explosivos se cargarán por metro lineal de agujero perforado (barreno).

La (**Tabla I.IV**) relaciona la densidad del explosivo en g/cm<sup>3</sup> y el diámetro del barreno en cm, o en pulgadas, con los kilogramos de explosivo por metro cargado de barreno.

Por ejemplo, si se tuviera un explosivo con una densidad de 1.29 g/cm<sup>3</sup> y un diámetro del barreno de 4 pulgadas (10.16 cm.) al consultar estos valores en la (**Tabla I.IV**), su intersección, nos indica que necesitaremos 10.458 gr./cm<sup>3</sup> de explosivos por cada metro lineal de barreno.

DIÁMETRO		VOLUMEN	KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO POR METRO LINEAL DE BARRENO PARA UNA DENSIDAD DADA.				
			60 grs	65 grs	75 grs	80 grs	1.10 grs
PULGADAS	cms	cm <sup>3</sup> /ml	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
7/8	2.22	387.08	0.232	0.252	0.29	0.31	0.426
1	2.54	506.71	0.304	0.329	0.380	0.405	0.557
1 1/4	3.18	794.23	0.477	0.516	0.596	0.635	0.874
1 1/2	3.81	1140.09	0.684	0.741	0.855	0.912	1.254
1 3/4	4.45	1555.29	0.933	1.011	1.166	1.244	1.711
2	5.08	2026.83	1.216	1.317	1.520	1.621	2.23
2 1/2	6.35	3166.93	1.9	2.059	2.375	2.534	3.484
3	7.62	4560.38	2.736	2.964	3.42	3.648	5.016
3 1/2	8.89	6207.18	3.724	4.035	4.655	4.966	6.828
4	10.16	8107.34	4.864	5.207	6.081	6.486	8.918
4 1/2	11.43	10260.85	6.157	6.670	7.696	8.209	11.287
5	12.70	12667.72	7.601	8.234	9.501	10.134	13.935
5 1/2	13.97	15327.94	9.197	9.963	11.496	12.262	16.861
6	15.24	18241.51	10.945	11.857	13.681	14.593	20.066
6 1/2	16.51	21408.44	12.485	13.915	16.056	17.127	23.549
7	17.78	24828.72	14.897	16.139	18.622	19.863	27.312
7 1/2	19.05	28502.36	17.101	18.527	21.377	22.802	31.352
8	20.32	32429.35	19.458	21.079	24.322	25.943	35.672
8 1/2	21.59	36609.7	21.966	23.796	27.457	29.288	40.271
9	22.86	41043.40	24.626	26.678	30.783	32.835	45.148
10	25.40	50670.87	30.403	32.936	38.003	40.537	55.739
11	27.94	61311.75	36.787	39.853	45.984	49.049	67.443
12	30.48	72966.05	43.780	47.428	54.725	58.373	80.263

**Tabla I.IV Carga de Barrenos**

### ***Velocidad de detonación.***

Es la velocidad expresada en metros por segundo, con la cual la onda de detonación recorre una columna de explosivo. La velocidad puede ser afectada por el tipo de producto, su diámetro, el confinamiento, la temperatura y el cebado. Las velocidades de detonación de los explosivos comerciales fluctúan desde cerca de 1,525 m/seg (5,000 pies/seg) hasta más de 6,705 m/seg (22,000 pies/seg). Pero la mayor parte de los explosivos usados tienen velocidades que varían de 3,050 a 5,040 m/seg (de 10,000 a 18,000 pies/seg). Mientras mayor sea la rapidez de la explosión, mayor suele ser el efecto de fragmentación.

### ***Sensibilidad.***

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

En la industria de los explosivos, la prueba más usada es la de la sensibilidad al fulminante, los cuales varían desde el número 4 hasta el 12. El uso del fulminante No. 6 es la prueba estándar, su contenido es de 2 gramos de una mezcla de 80% de fulminato de mercurio y 20% de clorato de potasio, o alguna sustancia equivalente. Con el uso de este fulminante se clasifican los productos explosivos, si estallan se les denomina explosivos, si sucede lo contrario se les llama agentes explosivos. Para comparar las sensibilidades entre diferentes productos se utilizan fulminantes de diferente potencias, cuanto más alto sea el número de la cápsula mayor será la sensibilidad del explosivo.

### ***Resistencia al agua.***

En forma general se define como la capacidad del explosivo para soportar la penetración del agua. Más precisamente, la resistencia al agua es el número de horas que el explosivo puede hallarse cargado en agua y aún ser detonado.

Obviamente, en trabajos en seco esta propiedad no tiene importancia, pero si el explosivo va a estar expuesto al agua puede ser afectado en su eficiencia o desensibilizarse al grado de no detonar, provocando una falla en la propagación de la detonación.

La resistencia del producto no sólo depende del empaque y de la capacidad inherente del explosivo para resistir el agua. La profundidad del agua (presión) y el estado de reposo o movimiento de la misma afectan el tiempo de resistencia al agua del explosivo.

Se originan de la detonación de explosivos principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, los cuales no son tóxicos en el sentido clásico de la palabra, pero también se forman en cualquier detonación gases venenosos como el monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

En trabajos a cielo abierto las emanaciones se pueden dispersar rápidamente por el aire, por lo que provocan poca preocupación, pero en trabajos subterráneos deben considerarse detenidamente, ya que las emanaciones no se disipan fácilmente y en este caso la ventilación es de fundamental importancia. También hay que considerar que las emanaciones provocan, mientras se disipan, tiempos de espera para poder reanudar los trabajos. Tanto la naturaleza como la cantidad de gases venenosos varían en los diferentes tipos y clases de explosivos. Algunos de los factores que pueden incrementar los gases tóxicos son: fórmula pobre del producto, cebado inadecuado, falta de resistencia al agua, falta de confinamiento, reactividad del producto con la roca y reacción incompleta del producto.

### ***Inflamabilidad.***

Se define como la facilidad con la cual un explosivo o agente de voladura puede iniciarse por medio de llama o calor.

En el caso de las dinamitas, la mayoría se incendian con facilidad y se consumen violentamente. Pero hay varios explosivos que requieren que se les aplique una flama exterior en forma directa y continua para que logren incendiarse.

### ***Selección del explosivo.***

Para seleccionar el explosivo a usarse en una situación determinada, es indispensable tener en cuenta su costo y sus propiedades. Deberá escogerse aquel que proporcione la mayor economía y los resultados deseados. Como una orientación se presenta a continuación la TABLA I.V con las propiedades de los explosivos, y el uso sugerido.

RESISTENCIA AL AGUA	TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	EMANACIONES	U S O
Buena	Dinamita Nitroglicerina	Nitroglicerina	----	Alta	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Regular	Extra	Nitroglicerina y amoniaco	20 a 60%	Alta	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Muy mala	Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto (canteras)
De buena a excelente	Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy alta	De muy pocos gases a nulos	Sismología. Trabajos submarinos y subterráneos.
Ninguna	ANFO	Amoniaco	----	Alta	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.
Excelente	Hidrógeles	Amoniaco	40 a 75%	Muy alta	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.

**Tabla I.V Selección y propiedades de los explosivos más comunes en construcción**

### **1. III DISEÑO DE VOLADURAS**

El uso de los explosivos es más una ciencia que arte hasta ahora el método mas económico para fragmentar la roca es mediante el uso de explosivos. La teoría esta soportada por la práctica de tal manera que el diseño de voladuras se realiza más por la relación entre parámetros que mediante fórmulas teóricas por ejemplo: la relación entre el diámetro y el bordo. Es necesario comprender como trabaja el explosivo en la roca, para lo cual se requiere del conocimiento de las propiedades de los elementos, la roca y los explosivos.

En relación a la roca se puede decir lo siguiente: Calidad.- tenemos una gran variedad en la calidad de los macizos rocosos en función de su estructura, y resistencia (caracterización del macizo rocoso).

Las siguientes son sólo reglas una guía, las cuales se irán ajustando de acuerdo a las características específicas de cada operación

#### **BORDO (B) m Ecuación 1**

$$B = 20 \text{ a } 40 (Db)$$

Donde:

20 a 40 = Factor de dureza de la roca.

Db = Diámetro del barreno.

#### **ESPACIAMIENTO (E) m Ecuación 2**

$$E = 1 \text{ a } 1.8 (B)$$

Donde:

1 a 1.8 = Relación de espaciamiento.

B = Distancia del bordo.

#### **CARGA DE FONDO (Cf) m Ecuación 3**

$$Cf = 0.3 \text{ a } 0.5 (B) + S$$

Cf = 0.3 a 0.5 veces el bordo + la sub-barrenación

Donde:

0.3 a 0.5 = Factor de dureza de la roca

B = Distancia del bordo

S = Longitud de la sub-barrenación

#### **TACO (T) m Ecuación 4**

$$T = 0.7 \text{ a } 1.3 (B)$$

Normalmente la altura del taco o la parte sin cargarse es igual al bordo.

At = B

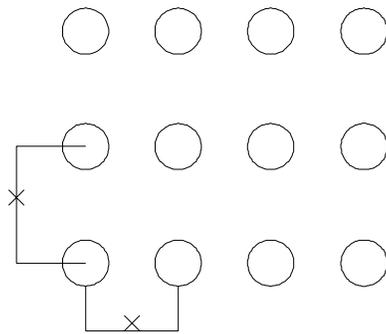
At<b: Puede causar un riesgoso incremento en el lanzamiento de rocas, resulta una fragmentación más fina.

At>b: En la misma manera aumentará el riesgo de obtener roca grande de la que se encuentra más cerca de la superficie.

De la plantilla de barrenación depende el buen resultado de una voladura, ya que la distribución de los barrenos dentro del área a volar es fundamental para lograr que la roca se fragmente adecuadamente y la distribución del explosivo en toda la voladura sea el pertinente. Las plantillas de barrenación más comunes son tres; cuadradas o reticulares, rectangulares y en tres bolillo. Esto realmente es difícil de delimitar debido a que la plantilla se diseña de acuerdo a las propiedades de la roca o a los volúmenes que se quieren obtener de una voladura.

La plantilla cuadrada tiene igual bordo y espaciamiento y los barrenos en cada fila están directamente alineados detrás de los barrenos de la línea del frente. De la plantilla de barrenación depende el buen resultado de la voladura, ya que la distribución de los barrenos dentro del área a volar es fundamental para lograr que la roca se fragmente adecuadamente y la distribución del explosivo en toda la voladura sea el

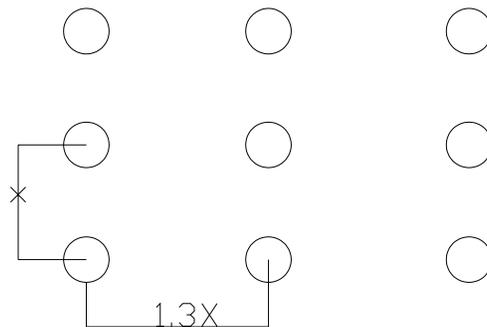
Pertinente. las plantillas de barrenación más comunes son tres; cuadradas o reticulares, rectangulares y en tres bolillo



**Figura 1 Arreglo de Plantilla Cuadrada**

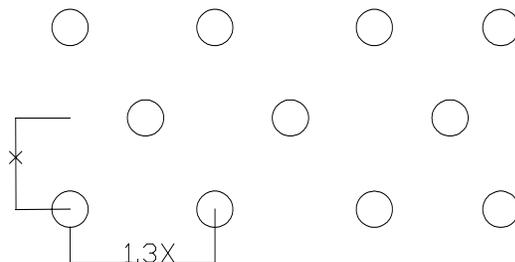
Observando en la superficie del banco, las áreas fracturadas alrededor de los barrenos pueden ser representadas como círculos. Es lógico asumir que todos los puntos en la superficie deben caer dentro de uno de esos círculos para que ocurra una fragmentación efectiva (**figura 1**)

La plantilla rectangular (**figura 1**), tiene bordo menor que el espaciamiento. Y como en la cuadrada (**figura 2**) también están alineados detrás de los de la línea del frente.



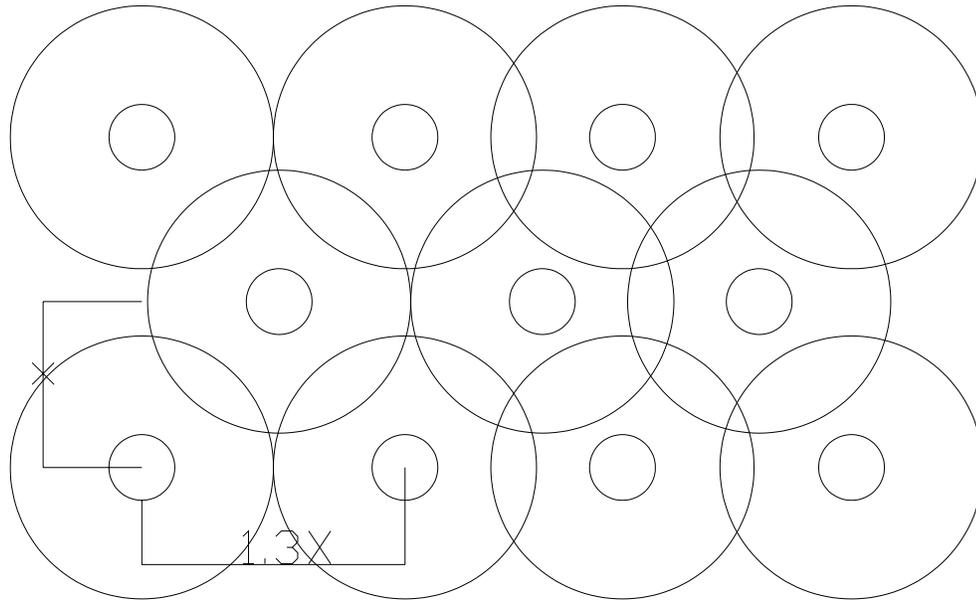
**Figura 2 Arreglo de Plantilla Rectangular**

La plantilla en tresbolillo puede tener la misma distancia de bordo y espaciamiento, pero es común encontrar que el espaciamiento es mayor que el bordo, y un rango confiable = 1.3 a 1.5 veces el bordo(**figura 3**)



**Figura 3 Arreglo de la Plantilla en Tresbolillo**

Este tipo de plantilla produce una mejor distribución del círculo de fracturas, por lo tanto mayor fragmentación en la rezaga utilizando un mismo factor de carga. Teóricamente el punto óptimo se obtiene cuando los barrenos forman un triángulo equilátero.



**Figura 4 Patrón de Barrenación en Tresbolillo**

En el patrón de barrenación en tresbolillo se aprecia una cobertura más homogénea de la influencia del explosivo (**figura 4**)

Este tipo de plantilla produce una mejor distribución del círculo de fracturas, por lo tanto mayor fragmentación en la rezaga utilizando un mismo factor de carga. Teóricamente el punto óptimo se obtiene cuando los barrenos forman un triángulo equilátero. En el siguiente esquema se puede ver todos los aspectos que intervienen en una voladura.

Algo que casi no se toma en cuenta en la práctica es la sub-barrenación y que esta se puede calcular de una manera relativamente sencilla con la siguiente formula:

$$SB = .10 (B) \text{ Ecuación 5}$$

En donde;

SB= sub-barrenación

B= longitud del barreno en m

Al aumentar las dimensiones del barreno, nos ayudara en la voladura ya que con esto se puede llegar a tener un buen piso para el desalojo del material y con esto, nuestro equipo se dañara menos ya que el terreno por el cual circula tendrá pocas patas (son los bordos que quedan) y al nosotros mantener el terreno en perfectas condiciones cuidamos nuestra vida útil del equipo y reducimos costos ya que emplearemos menos material explosivo.

La utilización de retardos entre línea o entre barrenos, brindan la oportunidad de provocar ese desahogo necesario para que la roca nos presente dos ventajas, la primera una reducción de la roca en vuelo y la segunda un control de la roca al rezagar, ya que con una adecuada distribución de estos tiempos se puede dirigir la voladura de tal manera que puede quedar apilada hacia el frente de la voladura o en todo el ancho del mismo.

Lo que se cuida en una voladura es tratar de que esta no se empalme y esto se logra utilizando de manera correcta los retardos. El empleo de retardos MS (retardos de superficie) en las voladuras del P.H. El Cajón es importante y de el depende el éxito de una voladura.

Los explosivos utilizados en el P. H. El Cajón son proporcionados por la compañía Dyno Nobel, esta compañía también se encarga del traslado del explosivo del lugar de almacenaje (polvorín) ala voladura.

Las siguientes tablas; en donde se indica el color, número y tiempo de los retardos (MS)

TIEMPO DE RETARDO		
Serie Milisegundo MS		
Retardo	Tiempo Milisegundo	Color de etiqueta
1	25	Rojo
2	50	Café
3	75	Verde
4	100	Azul
5	125	Rojo
6	150	Violeta
7	175	Gris
8	200	Azul
9	250	Rojo
10	300	Café
11	350	Verde
12	400	Azul
13	450	Rojo
14	500	Violeta
15	600	Gris

**Tabla I.III.I Tiempo de retardo**

Y la tabla de los conectores

Serie Conectores MS	
Retardo	Color del Block
17 milisegundos	Amarillo
25 milisegundos	Rojo
35 milisegundos	Negro
42 milisegundos	Blanco
50 milisegundos	Amarillo
65 milisegundos	Blanco
100 milisegundos	Negro

**Tabla I.III.I Serie de conectores MS**

El cordón detonante

Tipo	Diametro mm	Nucleo Gr/m	Gran/piela	Resistencia a Tensión kg
DetaCord	3.9	3.6	18	60
E-Cord	4.1	5.3	2.5	6
Reforzado	4.7	10.6	50	70
DeltaCord3P	3.2	3.6	18	80
DetaCord5P	3.6	5.3	25	80
CD 200	7.6	39.4	185	80

**Tabla I.III.III Cordón detonante primacord**

**Factor de carga**

Se define como la cantidad de explosivo utilizado para fragmentar un metro cúbico de roca y se expresa en  $\text{gr/m}^3$ .

El factor de carga a utilizar varía de acuerdo al tipo de roca, pero aun en casos en los que se explota un mismo tipo de roca este factor puede cambiar, dependiendo del intemperismo, la geología del yacimiento o la capacidad del equipo de acarreo y trituración con el que se cuente. Existen tablas que nos permiten obtener el factor de carga para cada tipo de roca. (**Tabla I.III.IV**).

El factor de carga utilizado en las voladuras que se inspeccionaron es:

**F.C.=0.30  $\text{kg/m}^3$**

TIPO DE ROCAS	FACTOR DE CARGA kg/m
<b>VOLCANICAS</b>	
Riolita-dacita	.530-.715
Granodioria	.590-.80
Andesita	.53-.715
Diorita	.530-.770
Basalto	.590-.77
Gabro,dolerita	.530-.715
<b>METAMORFICAS</b>	
Marmol	.475-.77
Hornfles	.475-.715
Taconita	.475-.770
Gneiss	.475-.715
Pizarra	.29-.475
Esquisito	.35-.6
<b>SEDIMENTARIAS</b>	
Conglomerado	.35-.66
Brecha	.35-.6
Arenisca	.475-.77
Caliza	.23-.475
Dolomita	0.29-.475

**Tabla I.III.V Factores de carga recomendados para diferentes rocas**

NOTA: los factores de carga están expresados en términos generales; por lo que sólo proporcionan una idea aproximada a la energía requerida por tipo de roca. Esto se debe a que cada banco tiene una geología particular, altura de banco, diámetro de barrenación, etc. Es importante mencionar que el factor de carga también esta en función del tamaño de la fragmentación deseada.

## Iniciadores no eléctricos

Los iniciadores con retardo tipo LP (periodos largos) se utilizan como medio de iniciación de explosivos dentro de los barrenos, por lo general, en donde hay una cara libre como: túneles; tiros; rampas, contrapozos, etc.

Los iniciadores con retardo tipo MS (milisegundos) (**Tabla I.III.I**) se aplica como medio de iniciación de explosivos dentro del barreno, generalmente donde hay dos o más cara libre tal como: rebajes, bancos, construcción y minería a cielo abierto. Los iniciadores con retardo EZDET fueron desarrollados para varias aplicaciones, sea en minería a cielo abierto, subterránea, construcción, canteras o pedreras. Es especialmente apropiado para operaciones cercanas a zonas habitacionales ya que permite un control mejor del ruido y las vibraciones ocasionadas por las voladuras. Ideal para operaciones en donde se requiere una rápida y sencilla conexión y el disparo de un número ilimitado de barrenos con iniciación independiente.

Los iniciadores con retardo Conectores MS son bi-direccionales y por ello pueden usarse en donde más de una ruta de iniciación es requerida, tal como en voladuras de múltiples filas.

El conector con el retardo apropiado se inserta en el lugar deseado cortando el cordón detonante (**Tabla I.III.II**), procediendo a realizar las conexiones correctas. Las condiciones que muestro a continuación son las bases de diseño en todas las plantillas diseñadas en el proyecto hidroeléctrico el Cajón.

Además se menciona los explosivos utilizados en este proyecto Según el contrato establecido para esta obra el encargado de llevar el control de las voladuras es el proveedor de los materiales explosivos en este caso la firma encargada de esto es DYNO que es la empresa que provee un lugar de trabajo seguro y saludable.

En realidad se estandariza la utilización de los explosivos es decir; solo se utiliza barrenos de 3” de diámetro y la profundidad de barrenos es de 10m a 11m y el alto explosivo utilizado es el Emulsión **DYNO 42 2x16 (950 gramos c/pza)** (**Tabla I.III.V**), en tanto el agente explosivo es **ANFODYNO saco con 25 kg.** (**Tabla I.III.VI**). La compañía que los suministra es DYNO

En el P.H. el Cajón se tiene las siguientes características en cuanto a material se refiere. La roca se clasifica como una ignimbrita, esta roca tiene un peso específico promedio de:

**2600 kg/m<sup>3</sup>**

Este dato es importante ya que es necesario para diseñar la plantilla de la voladura.

La roca que predomina en un 95% es la antes mencionada, la cual esta intrusionada por diques-falla de composición dolerítica, que por lo general se presentan sumamente enérgicamente alterados a productos arcillosos.

El alcance de este proyecto es el pronosticar la posible afectación de estructuras definitivas, dar recomendaciones para el cargado de los barrenos y especificar las cargas máximas por tiempo en cada barreno.

En el P.H. El Cajón se trata es de prever daños por voladuras, en las siguientes estructuras, **MURO ALABEADO, PLINTO, LA CASA DE MAQUINAS Y VERTEDOR (Plano “ARREGLO GENERAL”)**, por lo tanto requieren un estricto control del posible impacto por vibraciones, esto por la aplicación de concretos y morteros.

las características de los productos proporcionados por DYNO emulsión 42

EMULSION DYNO 42			
Diametro en pulgadas	Peso por cartucho en gr.	Densidad gr/cc	# Cartuchos por caja
<b>2x16"</b>	<b>1000</b>	<b>1.4</b>	<b>25</b>
3x8"	1080	1.4	23

**Tabla I.III.V Emulsión Dyno 42.**

Se considera que el peso de los cartuchos varía +/-10%, siendo el peso final 25 kg por caja.

ANFO DYNO		Densidad gr/cc	# Cartuchos por caja
<b>ANFODYNO</b>	<b>SACO DE 25 KG</b>	<b>0.83</b>	<b>No aplica</b>
ANFOYNO BD	SACO DE 25 KG	0.7	No aplica

**Tabla I.III.VI Anfo Dyno.**

Por lo que se entra a la siguiente tabla y se obtiene el valor de la densidad

DIAMETRO DE BARRENACION	Densidades									
	Pulgadas	Milímetros	0.5	0.8	0.85	0.9	1	1.1	1.14	1.18
1	25.4	0.26	0.41	0.43	0.46	0.51	0.56	0.58	0.6	
3	76.2	2.28	3.64	3.87	4.1	4.55	5.01	5.19	5.37	
4	101.6	4.06	6.49	6.89	7.3	8.11	8.92	9.25	9.57	

**Tabla I.III.VII Diámetro de Barrenación.**

Nota: Los valores anteriores están redondeados a dos decimales después del punto y la columna con la densidad (1) delimita a los ANFOS de la EMULSION

Un ejemplo para calculo de una plantilla tipo

Si suponemos que tenemos una plantilla cuadrada (**figura 1**), se tienen los siguientes datos:

$$X= 3 \text{ m}$$

$$D= 3''$$

$$L= 10 \text{ m}$$

Son solo 9 barrenos

Donde;

X= distancia entre barrenos, D= Diámetro de barrenos y L= Longitud de barrenación.

Entonces;

$$V= 3 \times 3 \times 10 = 90 \text{ m}^3$$

De la (**Tabla I.III.IV**) se obtiene el factor de carga

$$F.C. = 0.3$$

Entonces;

(F.C.) X (V) =  $0.3 \times 90 = 27$  kg. de explosivo, el paso siguiente es la proporción;  
Se toma una relación 90% y 10 %

$$\text{Multiplico } (27 \text{ kg/ml}) \times (.9) = 24.3 \text{ kg de ANFO}$$

$$\text{Multiplico } (27 \text{ kg/ml}) \times (.1) = 2.7 \text{ kg de Emulsión}$$

Con la (**Tabla I.III.VII**) y se obtiene la densidad del ANFO y Emulsión;

$$\text{ANFO} = 3.87 \text{ kg/ml}$$

$$\text{Emulsión} = 5.37 \text{ kg/ml}$$

Es importante mencionar que la relación se determina en base a la práctica y que esta cambia según las características del material y el tamaño de roca que se quiere obtener.

## **I. IV ALMACENAMIENTO Y NORMATIVIDAD EN EL USO DE EXPLOSIVOS**

### **I. IV.I ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS**

Las condiciones de almacenamiento de los explosivos tienen una relación con la seguridad en su uso mucho más profunda de lo que se piensa. Un almacenamiento inadecuado de los explosivos, de las mechas y de los demás artificios puede conducir a fallas tales como barrenos sin detonar y a explosivos en la rezaga. El manejo de barrenos quedados y la existencia de barrenos sin detectar, constituyen una de las fuentes principales de accidentes con los explosivos. Por lo tanto, las medidas que se tomen para evitar barrenos quedados son fundamentales para la seguridad del trabajador.

Una ventilación inadecuada en los polvorines puede coincidir, de modo indirecto, a accidentes, a menos que el aire circule libremente por todo el polvorín. Las variaciones extremas de temperatura pueden generar una rápida descomposición y deterioro de los explosivos y materiales y accesorios.

Para controlar un poco los factores ambientales es recomendable proporcionar la ventilación adecuada y pintar el exterior con colores blanco o gris y el techo con material reflejante.

Existen varios tipos de polvorines de los cuales menciono los siguientes:

Tipo 1.- Es un edificio permanente para materiales sensibles al disparo de una bala, que pueden detonar en masa. Es a prueba de balas y robo. Además es resistente a las condiciones climatológicas.

Tipo 2.- Es un polvorín portátil o móvil usado interior o exterior para almacenar materiales explosivos sensibles al disparo de una bala, que puedan detonar en masa. Esta construido de la misma forma que el tipo 1, con la excepción de que el polvorín interno no requiere ser resistente a balas.

Tipo 3- Es un polvorín portátil para almacenar explosivos que estén siendo manejados, tales como las cajas de carga a los sitios de voladura. Es a prueba de balas, resistente al fuego, al robo y a las condiciones climatológicas.

Tipo 4.- Es un polvorín portátil para almacenar materiales explosivos no sensibles al impacto de bala y que no detonarán en forma masiva. Es resistente al fuego, al robo y a las condiciones climatológicas.

Tipo 5.- Es un polvorín portátil para almacenar materiales explosivos que no son sensibles al disparo de una bala, es aprueba de robo y resistente a las condiciones climatológicas. Este tipo puede ser un edificio, un tanque, camiones o tolvas utilizadas para almacenar altos explosivos y agentes explosivos.

## **Localización de un polvorín.**

Al seleccionar la localización de un polvorín se debe considerar la seguridad pública, la del acceso al sitio de trabajo o de las áreas donde va a utilizarse el explosivo

La tabla de distancia cantidad contenida en la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos (**Anexo 1**), especifica las distancias mínimas de acuerdo a los volúmenes de almacenamiento con respecto a diferentes estructuras como son: edificios habitados, carreteras, vías de ferrocarril, polvorines, y líneas eléctricas, etc.

La capacidad total de explosivos que pudiera resguardarse en cada uno de los polvorines se determina de acuerdo a sus dimensiones interiores y exteriores. A estas últimas deben descontar los pasillos de tránsito y las capacidades se indican en kilogramos.

Los productos del mismo tipo y clase deberán almacenarse juntos, de tal manera que sea fácil identificarlos. Esto simplifica el conteo y la revisión de la antigüedad de los productos que se tengan almacenados.

Si requiere iluminación artificial, utilice exclusivamente una línea de seguridad. Nunca deberá entrar el polvorín con cerillos, encendedores o cualquier otra fuente de ignición. El interior del polvorín deberá mantenerse limpio, así como el área que lo rodea. La cual deberá estar libre de hojas, pasto, maleza seca, basura o cualquier tipo de desperdicio, esto para prevenir accidentes.

Se debe dar mantenimiento regular a los polvorines, con el fin de evitar goteras y daños en las paredes o muros. Se debe mantener el calor de las paredes y puertas. Nunca se deberá permitir a personas no autorizadas el acceso o cercanía al polvorín. La puerta del polvorín deberá permanecer cerrada siempre, excepto cuando se realicen movimientos de materiales.

En el polvorín de explosivos sólo se almacenarán altos explosivos, agentes explosivos y cordones detonantes (estas especificaciones vienen especificadas en el permiso general que extiende La Secretaria de la Defensa Nacional, así como en la tabla de compatibilidad contenida en la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos).

En el polvorín de artificios debe almacenarse únicamente accesorios de voladuras tales como: fulminantes, estopines eléctricos. Mechas de seguridad y demás accesorios de iniciación. No deberá almacenarse herramientas o implementos metálicos que pudieran producir chispas. Los polvorines de accesorios de mínimas direcciones

## **1. IV.II NORMATIVIDAD**

### **LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS**

La Ley Federal de Armas y Explosivos (Ley) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de enero de 1972. las disposiciones de esta Ley se consideran de interés público.

La aplicación de la ley corresponde a:

El presidente de la República;  
La Secretaria de gobernación;  
La Secretaria de la Defensa Nacional y  
A las demás autoridades Federales en los casos de su competencia.

La ley consigna que las autoridades de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios tendrán la intervención que la ley y su reglamento señalen.

El control y vigilancia de las actividades y operaciones industriales y comerciales que se realicen con explosivos, artificios y sustancias químicas, será hecho por la Secretaria de la Defensa Nacional.

Por lo que se refiere a los explosivos, la ley establece tres tipos de permisos a saber:

Permisos generales;  
Permisos ordinarios;  
Permisos extraordinarios

Los tres tipos de permisos que señala la Ley son de naturaleza intransferible. La secretaria de la Defensa Nacional tiene la facultad discrecional de negar, suspender o cancelar los permisos mencionados, cuando a su juicio las actividades amparadas en los permisos puedan causar peligro a las personas, a las instalaciones o alterar la tranquilidad de la población.

Los Permisos Generales se conocerán a personas que se dediquen de manera permanente a las actividades reguladas por la ley, tendrán vigencia durante el año en que se expidan y podrán ser revalidados a juicio de la Secretaria de la Defensa Nacional.

Los Permisos Ordinarios se otorgarán en cada caso para realizar operaciones mercantiles con personas que tengan permiso general vigente o que o con comerciales de otros países.

Los Permisos Extraordinarios se otorgarán a personas que eventualmente se dediquen a alguna de las actividades reguladas por la ley.

Las sociedades que pretendan dedicarse a la fabricación y comercialización de explosivos, podrán permitir en su capital una participación de hasta el 49% de inversión extranjera, en los términos que establece la Ley de Inversión Extranjera.

Este porcentaje de inversión extranjera no inversión no incluye a las sociedades que adquieren y utilicen explosivos para actividades industriales y extractivas.

La Secretaria de la Defensa Nacional, tiene la facultad de practicar visitas de inspección a las negociaciones que se dediquen a las actividades reguladas por la Ley y a solicitar los informes necesarios respecto de estas actividades.

Si usted requiere el uso de explosivos para romper roca en cualquier de sus obras, será necesario la obtención del permiso correspondiente de acuerdo a los requerimientos de la Dirección de Armas de Fuego y Explosivos de la Secretaria de la Defensa Nacional

Los polvorines deberán ser colocados de acuerdo en la tabla de seguridad y distancia cantidad que viene en le reglamento de Armas de Fuego y Explosivos de la Secretaria de la Defensa Nacional la cual puede observarse en el **(Anexo 1)**

## **LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS TEXTO VIGENTE**

(Ultima Reforma aplicada 24/12/1998)

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1972

LEY Federal de Armas de Fuego y Explosivos.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-  
Presidencia de la República.

LUIS ECHEVERRIA ALVAREZ, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

### **DECRETO**

El Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, decreta:

## **LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS**

**Para la Compra Almacenamiento y Consumo de Material Explosivo, en la Industria de la Construcción**

**Tiempo de resolución 37 días, si la documentación esta completa y correcta**

Solicitud de permiso general, conforme a modelo oficial.

Copia certificada del acta de nacimiento (personas físicas) o copia certificada del acta constitutiva (personas morales).

Copia certificada del acta de nacimiento y poder notarial del representante legal (personas morales).

Opinión favorable del Gobernador del Estado, firmada por el titular.

Certificado de seguridad del lugar de consumo, conforme a modelo oficial.

Referencias del lugar de consumo, conforme a modelo oficial.

Planos señalados en los numerales 1 y 2 del artículo 46 del Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.

Plano de conjunto a 1,000 mts. Alrededor del lugar donde se consumirán los explosivos a escala 1:4000 en el que figuren en su caso, instalaciones militares, vías de comunicación, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas, obras de arte, zonas arqueológicas, gasoductos, oleoductos, construcciones para casas-habitación, instalaciones industriales y principales accidentes topográficos.

Plano detallado del proyecto de construcción de sus polvorines (almacenes) a escala adecuada para su localización, con especificaciones.

Referencias, certificado de seguridad y planos de los polvorines.

Relación con los nombres de las personas (pobladores, barreteros, etc.) que realizarán el manejo de material explosivo y de la persona que será el responsable del manejo de los explosivos directamente en el lugar de consumo.

El costo por este servicio deberá consultarlo en la Ley Federal de Derechos en vigor.

Informe sobre el tiempo que durarán sus actividades con material explosivo.

**Anexo1**

	Distancia en metros			POLVORINES CON PROTECCION			
Descripción del material	kilos de	a	edificios habitados	Vias ferreas	Caminos carreteras	Lineas de alta tension	Entre polvorines
1. Dinamina, explosivos al nitrato de amonio	0	500	126	100	100	100	11
	500	750	146	100	100	100	13
	750	1000	160	100	100	100	14
	1000	1250	170	100	100	100	15
	1250	1500	180	100	100	100	17
	1500	2000	200	100	100	100	18
	2000	3000	230	100	100	100	20
	3000	4000	250	100	100	100	23
	4000	5000	260	100	100	100	25
	5000	6000	270	117	100	100	26
	6000	7000	275	122	100	100	27
2. artificios (fulminantes, estopines, conectores MS, cordones detonantes.)	7000	8000	285	127	100	100	28
	8000	9000	295	132	100	100	30
	9000	10000	305	137	100	100	31
	10000	12000	330	148	100	100	33
	12000	14000	350	154	105	103	35
	14000	16000	370	160	110	105	36
	16000	18000	390	168	116	112	38
	18000	20000	405	173	121	118	39
	20000	25000	445	185	135	130	43
	25000	30000	480	200	145	140	46

## Capítulo II Generalidades del “Proyecto Hidrológico el Cajón”

### II.I INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

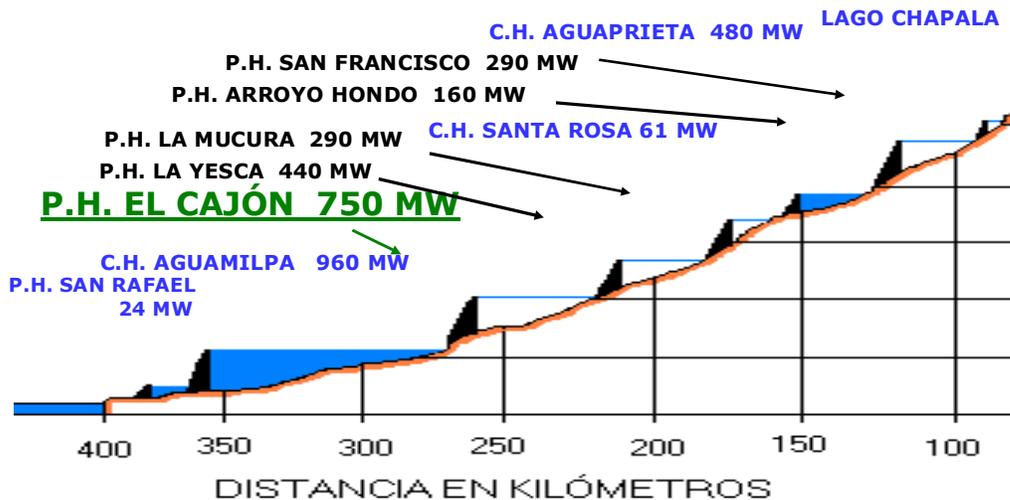
#### Antecedentes

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón forma parte de un plan global de aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago, ocupará el segundo lugar dentro del potencial del sistema, después de la central Aguamilpa y el noveno lugar en el ámbito nacional.

Su finalidad principal es la producción de energía eléctrica, en operación conjunta con las otras plantas previstas y construidas a lo largo del río y con factores de planta bajos para atender picos de consumo.

### P.H. EL CAJÓN

#### Sistema Hidroeléctrico del Río Santiago



## **ASPECTOS A DESARROLLAR EN LA OBRA**

Una cortina de materiales graduados y cara de concreto de 186 m de altura; (la segunda en el mundo en su tipo, después de Agua milpa).

La obra de desvío mediante dos túneles de sección portal y dos ataguías (la mayor de 65 metros de altura máxima);

Vertedor de excedencias controlado;

Casa de máquinas subterránea, con dos grupos turbogeneradores (750 MW).

Desarrollar el camino de acceso de 43 Km. de longitud y dos líneas de un circuito de 400 kv, con longitud total aproximada de 25 km.

Realizar: obras de desarrollo social y protección ambiental.

Alcance del proyecto: ingeniería complementaria; construcción de obras civiles; suministro e instalación de equipos y sistemas electromecánicos; suministro de repuestos y herramientas especiales; montaje, pruebas y puesta en servicio; fletes, seguros, manejo aduanal y capacitación.

La supervisión se hará por medio de un sistema de calidad.

Monto de inversión: 810 millones de dólares (mdd).

Localización: Estado de Nayarit.

Es parte del Sistema Hidrológico Santiago.

Constructores: Promotora e Inversora Adisa, ICA, Energomachexport Power Machines y la Peninsular Compañía Constructora.

Esquema de contratación: Obra financiada con un contrato mixto de precio alzado y unitarios.<sup>o</sup>

Importancia: Segundo en potencia de generación del país.

Capacidad de generación instalada: 750 MW.

Generación de empleos: 5,000 directos y 5,000 indirectos.

Financiamiento: Línea de crédito de 748 mdd firmada por CIISA con Wester LB AG.

Conclusión del proyecto: Agosto de 2007.

El aprovechamiento hidroeléctrico considera una Central equipada con dos grupos turbogeneradores los cuales permitirán una generación media anual total de 1 228,637 GWh. El embalse contribuirá a regular los escurrimientos de cuenca propia y beneficiará a la central AguaMilpa, ya que al recibir su vaso las aportaciones reguladas del río incrementará su generación firme en 69,912 GWh y se reducirán las probabilidades de derrama por el vertedor. Por lo tanto la generación media anual total será de 1 298,549 GWh.

### Fotos Maqueta

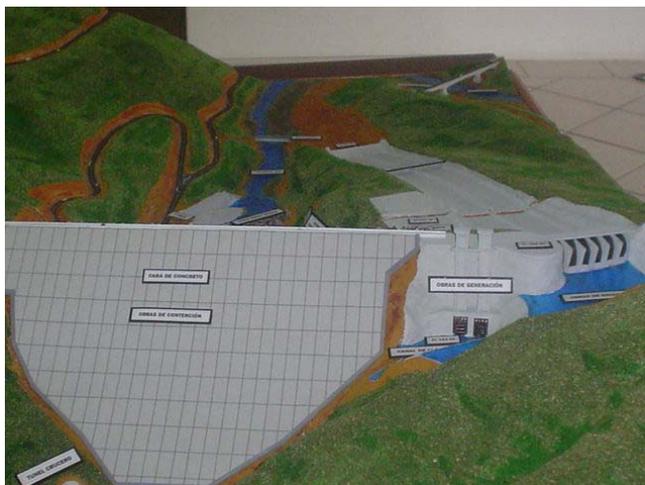


#### Foto 1

P.H. El Cajón.

Proyecto escala 1:1400

Vista de aguas abajo, se puede ver el vertedor, cortina, ataguía, y portal de salida.



#### Foto 2

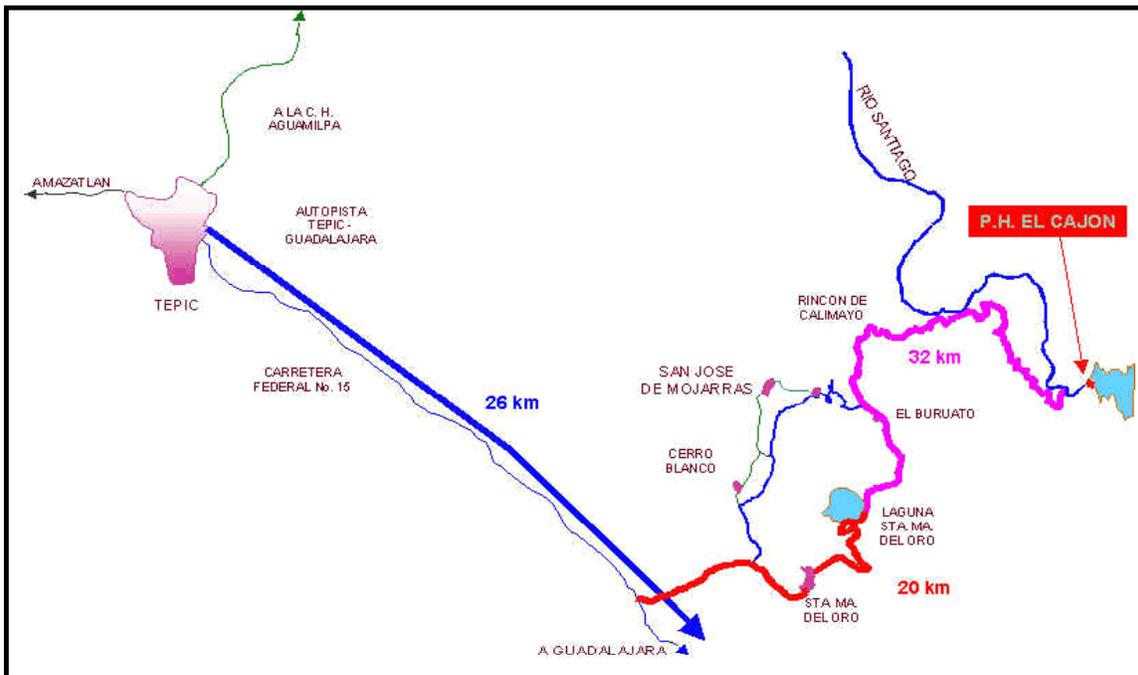
P.H. El Cajón.

Proyecto escala 1:1400

Vista de aguas arriba, se aprecia cortina, Obra de generación, compuertas y Obra de Excedencias.

## II.II Localización

El sitio previsto para la construcción de las obras del proyecto se encuentra en el estado de Nayarit, al oriente de la ciudad de Tepic, en los municipios de La Yesca y Santa María del Oro, en terrenos comunales del poblado Cantiles, sobre el río Santiago a 60 Km. aguas arriba de la C.H. Aguamilpa, sus coordenadas geográficas son 21° 25' 41" de latitud norte y 104° 27' 14" de longitud oeste



### **II.III Datos principales**

#### 2.3.1 Vías de comunicación

El acceso actual al sitio de las obras a partir de la ciudad de Tepic, se logra mediante un recorrido total de 78 Km. éste inicia por la carretera federal No. 15 o por la autopista Tepic-Guadalajara, con un desarrollo de 26 Km. hasta el entronque “La Lobera”, donde se toma la desviación por la carretera estatal al poblado y Laguna de Santa María del Oro con un desarrollo de 20 km.

#### Hidroclimatología

De los planos generales que forman parte de estas proyecto, se incluye “Información hidroclimatológica”, de él se obtuvieron los siguientes datos:

Temperatura media mensual máxima de 32°C en el mes de mayo y mínima de 23,2°C en el mes de enero.

Evaporación media mensual máxima de 317,8 mm en mayo y mínima de 129 mm en diciembre.

Precipitación media mensual máxima de 234,6 mm en julio y mínima de 10,7 mm en diciembre.

Escurrimiento medio mensual máximo de 918,8 millones de m<sup>3</sup> en el mes de agosto y mínimo de 83 millones de m<sup>3</sup> en febrero.

En la zona de las obras, la temporada de lluvias se presenta muy marcada entre los meses de junio a octubre y el estiaje entre los meses de noviembre a mayo. Durante el invierno se presentan lluvias en un porcentaje ligeramente mayor al 5% de la media anual.

## **Geología**

La boquilla del P.H. El Cajón está enmarcada geológicamente por unidades de diversa litología y edad, desde rocas metamórficas del Precenozoico e ígneas del Oligoceno al Cuaternario. Existen rocas metavulcanosedimentarias, granitos, andesitas, flujos y emisiones piro clásticas ácidas, derrames basálticos, diques de composición granítica, andesítica y diabasita; depósitos Vulcano sedimentarios, aluviones de paleo cauce, depósitos pumicíticos, lacustre, de talud y de aluvión reciente.

Desde el punto de vista geológico estructural, el macizo rocoso del proyecto se encuentra intrusionado, basculado y claramente delimitado por fallamiento regional, que permitió la definición de bloques y sub.-bloques. De acuerdo con los estudios realizados, las obras se emplazarán principalmente en roca Ignimbrita de composición riodacítica, la cual se diferenció en 3 unidades denominadas TicU1, TicU2 y TicU3, entre estas unidades aparecen dos horizontes aglomeráticos, uno de 5 m de espesor y otro de 22 a 25 m de espesor.

En el macizo rocoso del sitio donde se ubican las obras y en especial en la margen izquierda, se presenta un gran numero de fallas geológicas y espesores superficiales de roca descomprimida con valores RQD de 0 a 50 % hasta 50 m de profundidad. Esta situación va a implicar en las obras a cielo abierto importantes excavaciones y tratamientos a la roca para desplantar estructuras. Para la construcción de las obras subterráneas en ambas márgenes, también se prevén intensos tratamientos a la roca

**Tabla de datos**

□ Vaso de almacenamiento			
Nivel de diseño (corresponde a la carga de diseño de la turbina)		380,07	m
Elevación al NAMINO		346,00	m
Elevación al NAMO		391,00	m
Elevación al NAME		394,00	m
Capacidad para azolve (Elev. 319,50 m)		482,4*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Capacidad útil para generación (NAMO - NAMINO)		1 316,2*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Capacidad de control de avenidas (NAME - NAMO)		117,5*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Área al NAME		3 9,82*10 <sup>6</sup>	m <sup>2</sup>
Área al NAMO		3 8,52*10 <sup>6</sup>	m <sup>2</sup>
Área al NAMINO		2 0,87*10 <sup>6</sup>	m <sup>2</sup>
Cortina			
Tipo	Enrocamiento con cara de concreto(CFRD)		
Elevación de la corona		394,5	m
Elevación máxima del parapeto		396,00	m
Elevación máxima de terracerías		393,00	m
Longitud de la corona		550,0	m
Altura total al desplante		186,0	m
Volumen total de terracerías		10 299 696	m <sup>3</sup>
Elevación de desplante		210,00	m
Talud aguas arriba		1,4:1	
Talud aguas abajo		1,4:1	
Altura bordo libre		2,00	m

**NOTA GENERAL:**

Todas las elevaciones indicadas en m en esta sección se les deberá adicionar 1,0436 m para referenciarlas realmente al nivel medio del mar.

## **CAPITULO III ALTERNATIVAS DE USO DE EPLOSIVOS**

### **III.I Efectos y controles de vibración y ruido en voladuras a cielo abierto**

El conocimiento del origen de las vibraciones y ruido por explosivos, así como el efecto nocivo que causan estos fenómenos físicos en la estabilidad de las formaciones rocosas y estructuras convencionales (casas, edificios, etc.) nos han llevado a establecer las bases y criterios de control y mitigación de los mismos. Dado el incremento del uso de explosivos en diversas operaciones superficiales (minas, canteras, obras de construcción, etc.), es importante aplicar la metodología sobre los criterios de daños para establecer los parámetros de diseño que un técnico debe considerar antes de realizar una voladura para optimizar los resultados; minimizar los efectos de vibración y ruido.

Hoy en día muchos países como México, tienen diversos problemas asociados con el uso de explosivos. En especial en este proyecto hidroeléctrico del Cajón se lleva un importante control de estos.

Los efectos principales que se originan las voladuras son:

- a) Vibración del suelo
- b) Golpe de aire

Para minimizar estos efectos, es necesario saber cómo se generan y propagan las vibraciones y el golpe de ariete. Se analizo según la metodología de su estudio, conocer los criterios de daños aplicables a la estabilidad de taludes y estructuras convencionales de construcción y los parámetros de diseño que debe considerar un técnico de voladuras para controlar estos efectos.

Con estas opciones se tiene una cobertura de diferentes casos que se presentan a lo largo del proyecto, entre obras exteriores y obras subterráneas.

La definición específica de los sitios donde se colocó para el equipo para el registro fue determinada en cada oportunidad en función del sitio de la voladura, de la protección y al equipo tomando en cuenta la propia topografía y operando en consenso con el personal de seguridad.

En cada registro se tomo la siguiente información:

- A) Fecha
- B) Sitio de la voladura
- C) Sitio del registro
- D) Distancia entre ambos sitios indicados en los incisos b y c
- E) Velocidad de la partícula máxima y frecuencia por cada componente y en integración vectorial
- F) Aceleración máxima
- G) Presión de la onda de aire

El monitoreo de las voladuras se ha llevado a cabo tomando en cuenta el procedimiento presentado por Dowding para la ISRM (Dowding, 1992)

El equipo utilizado para el monitoreo es el llamado minimote Plus, de la firma Instantel.

Según el contrato establecido para esta obra el encargado de llevar el control de las voladuras es el proveedor de los materiales explosivos en este caso la firma encargada de esto es DYNO que es la empresa que provee un lugar de trabajo seguro y saludable:

- Cumplirá con todas las leyes aplicables, regulación y pautas corporativas relacionadas con la salud, el ambiente, la calidad y la seguridad.
- Proveerá los recursos necesarios y sistemas efectivos, programas y gestión para lograr el cumplimiento de objetivos específicos.
- Evaluara el impacto sobre seguridad, salud, ambiente y calidad a desarrollar nuevos productos.
- Facilitara el reclutamiento del material, minimizara los desechos, conservado la energía y prevendrá la contaminación.
- Prevendrá accidentes y lesiones a través de análisis sistemáticos de riesgos, capacitación y auditorias periódicas.

### Limites para prevenir afectación

Para cada uno de los efectos de una detonación, existen criterios de evaluación para determinar si es aceptable o no la voladura. En el caso de que para una voladura pueda haber más de una afectación se evalúa cada una por separado, se determina la cantidad de explosivo permitido y después de todas las evaluaciones rige la de menor carga.

A continuación se describen los criterios para cada caso.

### Afectaciones a construcciones

Se cuenta con experiencia de control de efectos en los proyectos P.H: Aguamilpa, Nayarit,; P.T. Topolobampo, Sin. Y P.H. Ampliación Temascal, Oaxaca de donde se han recabado los valores indicados en la siguiente tabla a la cual se le ha incluido la restricción sugerida por Olofsson:

	Velocidad de partícula mm/s	Velocidad de partícula mm/s	Velocidad de partícula mm/s	Velocidad de partícula mm/s
<b>Tiempo de fraguado Concreto hidráulico</b>	Olofsson	P.H. Aguamilpa, Nayarit. Nota CFE MR160/91	P.T. Topolobampo. Sinaloa Informe CFE 92-04-GR	P.H.A. Temascal Oaxaca CFE MR 076/94
0 a 2 horas	100	100	100	51
2 a 4 horas			12	
4 a 5 horas				0
5 a 8 horas	0			
8 a 10 horas		38		
10 a 12 h		75		
12 a 24 h				12
1 a 2 días	14			20
2 a 3 días	30			
3 a 7 días	40		51	30
7 a 28 días	60			40
> 28	85			51

Con base en lo anterior, se propone para el P.H. el Cajón, Nayarit. La siguiente restricción:

<b>Tiempo de fraguado</b>	<b>Velocidad de partícula (mm/s)</b>
0 a 4 horas	100
4 a 8 horas	0
8 a 12 horas	12
12 horas a 3 días	25
3 a 7 días	51
7 a 28 días	60
Más de 28 días	75

En el caso del concreto lanzado dado que su fraguado es acelerado, se propone simplemente restringir la vibración conforme a lo siguiente:

<b>Tiempo de fraguado</b>	<b>Velocidad de partícula máxima (mm/s)</b>
0 a 2 horas	0
2 a 24 horas	51
Más de 24 horas	75

Cabe señalar que algunos especifican el límite de 51 mm/s para evitar daños a estructuras, pero se refieren en general a zona residenciales, en donde los acabados son muy sensibles a las vibraciones y al no ser este el caso el aplicable al proyecto, se propone acotar a 75 mm/s la restricción.

### **Sobre presión**

Uno de los primeros efectos en los cuáles se manifiesta la sobre presión es en la rotura de ventanas, las cuales ocurren a partir de 170dB, o bien, normalmente si la voladura se restringe a una vibración de partícula de 70 mm/s se considera que no habrá afectación por onda de aire.

### **Sensibilidad humana**

Este efecto se produce por el ruido en si mismo y por las vibraciones. Para el primer caso, en zonas urbanas, se tiene identificado que las molestias se presentan a partir de 70 dB, pero dado que las voladuras son de duración relativamente instantánea, y el proyecto se ubica en zona alejada de viviendas o sitios de trabajo, además de que se moviliza al personal en las inmediaciones de la voladura, se considera que para el presente proyecto no aplica esta restricción. El segundo

caso, relativo a vibraciones, se acota a 5,1 mm/s, pero de igual manera, si no es de aplicación frecuente y de hecho se retira al personal de la inmediación de la voladura, se puede suprimir este efecto dentro de la determinación de la carga máxima por tiempo.

### **Movilización de la roca**

Olofsson establece que la distancia prevista para movilización de la masa detonada puede ser hasta de:

$$A = 145 (FC - 0,20)$$

Donde

A Distancia de movilización (m)

FC Factor de carga ( $\text{kg/m}^3$ )

En excavaciones as cielo abierto es práctica común que el factor de carga sea de 0,25 a 0,50; por lo que se anticipa que la movilización puede alcanzar hasta 45 m. En cuanto al lanzamiento de roca, el mismo autor establece que para barrenos de 75 mm de diámetro, con un factor de carga de 0,50 la distancia alcanzada por algún fragmento de roca puede llegar a ser hasta de 380 m.

### **Afectación de la roca**

Es práctica común acotar la velocidad de partícula como:

$$V_c = \sigma / \rho C$$

Donde

V<sub>c</sub> velocidad de partícula crítica  
σ Resistencia a la tensión (kPa)  
ρ Densidad  
C Velocidad de onda de corte (m/s)

Con base en la información geotécnica disponible para el P.H. El Cajón, Nayarit., se obtuvieron los siguientes valores:

$\sigma$  5750 kPa  
 $\rho$  2.3 (22.63 kN/m<sup>3</sup>)(9.81 m/s<sup>2</sup>)  
C Velocidad de onda de corte (m/s)

Con el mayor valor de la velocidad de onda de corte, se obtiene la velocidad crítica mínima que debe usarse como restricción para no causar daño a la roca. Al sustituir los valores en la ecuación resulta:

$$V_c = 0.61 \text{ m/s}$$

Este valor resulta muy alto, de hecho algunos indican que para evitar daño a la roca se debe restringir a la vibración de partícula a 250 mm/s. En el caso de túneles se sugiere que la velocidad de partícula (en mm/s) no exceda la décima parte de la velocidad de corte en m/s

Con base en lo anterior, considerando que los túneles se excavan como generalidad en roca con velocidad de onda de corte a los 2700 m/s, se encuentra adecuado restringir la velocidad de partícula a 250 mm/s para las excavaciones en general.

### **III.II PRONOSTICO DE EFECTOS**

Para el pronóstico de la velocidad de partícula, con las voladuras efectuadas se han graficado los puntos en un plano dado por la distancia escalada y la velocidad de partícula registrada. Ambas escalas se presentan en escala logarítmica. Con estos puntos se ha obtenido una envolvente superior que razonablemente permita inferir en lo sucesivo el efecto que provocará una voladura en función a la distancia que se efectúa y la cantidad de explosivo que se detona por tiempo. Se define entonces la distancia escalada como:

$$DE = D/W^\alpha$$

Donde:

- D distancia que existe entre la voladura y el sitio de registro
- W explosivo detonado en un cierto tiempo
- $\alpha$  Exponente, (Oriard,  $\alpha=50$ ; Hendron,  $\alpha=0,33$ ; Langerfors,  $\alpha=0,67$ )

Para la presentación de este trabajo se ha utilizado la ecuación de Oriard. Misma que se aplicó en la Termoeléctrica Toolobampo II (Yáñez, 1993) y en la Hidroeléctrica Ampliación Temascal, Oaxaca.

La velocidad de partícula es directamente proporcional al peso de la carga e inversamente proporcional a la distancia, por lo que es práctica común establecer el pronóstico a partir de una ecuación de tipo:

$$V = KDE^\beta$$

- V velocidad de partícula (m/s)
- K constante a determinarse con el registro de las primeras voladuras

Es importante mencionar que el alcance de este proyecto solo es para la margen derecha (**plano “OBRA DE EXCEDENCIAS”**), y su posible afectación a estructuras definitivas.

### **III.III ESTUDIO DE MONITOREO SÍSMICO REALIZADO EN EL PROYECTO “EL CAJÓN” Y SUS IMPLICACIONES EN LAS ESTRUCTURAS DEFINITIVAS – TEPIC-NAYARIT**

Como se ha mencionado solo se analizó la margen derecha del Proyecto Hidroeléctrico(plano “**OBRA DE EXCEDENCIAS**”), a partir de la información que se tiene archivada generada por los sismógrafos, además de la obtenida en campo, y con esto determinar la posible afectación de las estructuras definitivas ya mencionadas. Sin embargo en algunos casos la estructura se encuentra en alguna falla por lo que su fractura no corresponde a la utilización de explosivos.

Las estructuras geológicas identificadas superficialmente en el sitio de la obra de excedencias están representadas varios tipos principales de discontinuidades: fallas,

#### **Falla Lagarto.**

El desplazamiento entre los bloques que componen a la falla Lagarto es de tipo normal; la traza superficial de esta discontinuidad se localiza sobre el canal del vertedor, específicamente en la margen izquierda de esta obra, y su trayectoria es a partir del cadenamiento 0+0177,00 a 0+0600,00 m.

El área de cizallamiento de la falla Lagarto en general se ve enmascarada por los materiales que han sido acarreados por el arroyo. Los afloramientos donde es posible apreciar esta zona de cizalla tienen la presencia de un amplio espesor de brecha de falla, roca triturada y fracturamiento persistente que varía en cuanto a su longitud, pero orientado en la misma dirección de la falla principal (Fotografía ). La continuidad de esta estructura sugiere una longitud de 430 m aproximadamente.



Fotografía.- Se puede observar claramente que la zona de cizallamiento de la falla Lagarto es muy amplia y tiene un espesor importante de brecha de falla.

La falla Lagarto fue cortada por el barreno BTDA-1 a una profundidad que va de 84,50 a 97,00 m (elevación aproximada 260 msnm), y se asocia a roca muy fracturada de la unidad TicU3 de mala calidad, con un RQD que desciende considerablemente en este tramo de 0,00 a 4,92 %.

Las fallas hasta ahora descritas en este capítulo son las que tendrán mayor relevancia en el área propuesta donde se excavan los diferentes elementos civiles de la obra de Excedencias;

Se resumen las características principales de las fallas mencionadas en:

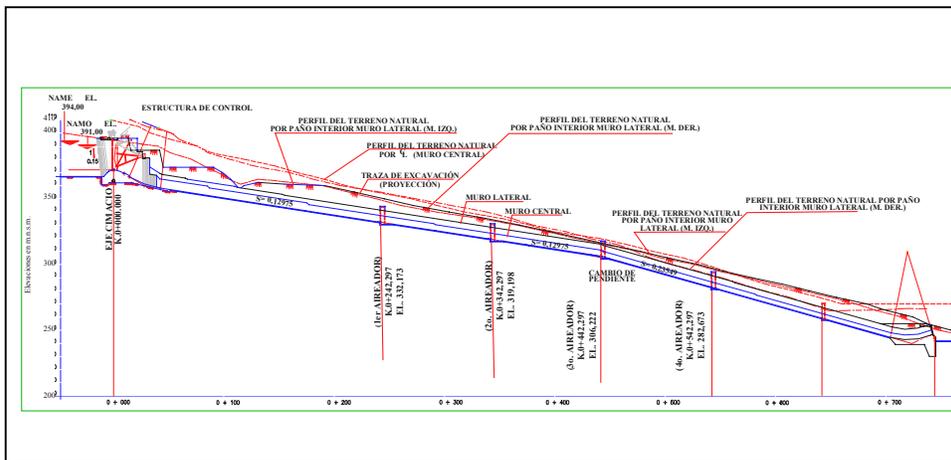
□ Falla	□ Rumbo	Espesor (m)	□ Relleno	Longitud (m)	□ Observaciones
FMD-8	N-S/74°W	Oct-20	Material cataclástico	>190	Afecta al canal de llamada, excedencias y generación.
FD-0	N82°W/77SW	4	Roca fracturada	50	Talud derecho canal de llamada excedencias.
FD-P	N55°W/67°NE	0,30-10	Material milonítico, alteración argílica	150	Talud derecho canal de llamada excedencias.
F-VIII	N17°W/68°NE	02-Oct	Arcilla y roca fracturada.	>200	Frente izquierdo canal de llamada.
FG-02	N06°W/76°SW	2	Material cataclástico y roca fracturada	150	Canal de llamada obra de excedencias.
FG-01	N-S/74°E	0,80	Material cataclástico	50	Piso y talud izquierdo canal de llamada.
FD-N	N-S/58°E	4	Roca fracturada.	70	Talud izquierdo y piso del canal de llamada.
Arroyo 2	N07°W/81°NE	0,70	Material cataclástico y alteración argílica.	>240	Piso y ambos taludes del canal de llamada.
Crucero	N45°E/42°SE	>15	Brecha de falla y arcilla.	>150	Piso del canal de llamada y zona de estructuras (cimacio).
FD-I	N20°E/66°NW	0,20-0,40	Roca fracturada.	60	Zona de estructura (cimacio).
FD-H	N20°W/60NE	0,30	Brecha de falla y roca fracturada.	120	Zona de estructuras (cimacio).
F-VI	N30°W/76°NE	4	Roca fracturada.	300	Inicio aguas abajo canal de descarga.
F-IV	N10°W/65-70°NE	15	Roca fracturada y dique diabásico	>350	Piso y ambos taludes del canal de descarga (vertedor).
Lagarto	N45°E/65-74°SE	>15	Brecha de falla y arcilla	>430	Canal de descarga obra de excedencias.

Fallas que afectan a la zona de obra de Excedencias

## CANAL DE LLAMADA.

Esta excavación corresponde con el inicio del canal vertedor y su longitud se aproxima a los 300 m; su amplitud varía de 35 m en la entrada, 148 m en la parte media y 90 m en salida. El piso se excava en la cota 367 msnm y en el lado derecho se realizarán 5 cortes de talud que alcanzarán aproximadamente la cota 490 msnm, mientras que en el izquierdo los cortes llegan la cota 396 msnm.

Excavaciones a cielo abierto	4 840 802	m <sup>3</sup>
Incluye canal de llamada		
Concretos	156 786	m <sup>3</sup>
Concreto lanzado	6 380	m <sup>3</sup>
Compuertas radiales 12 x 20.70 m	6	
y un puente de maniobras		

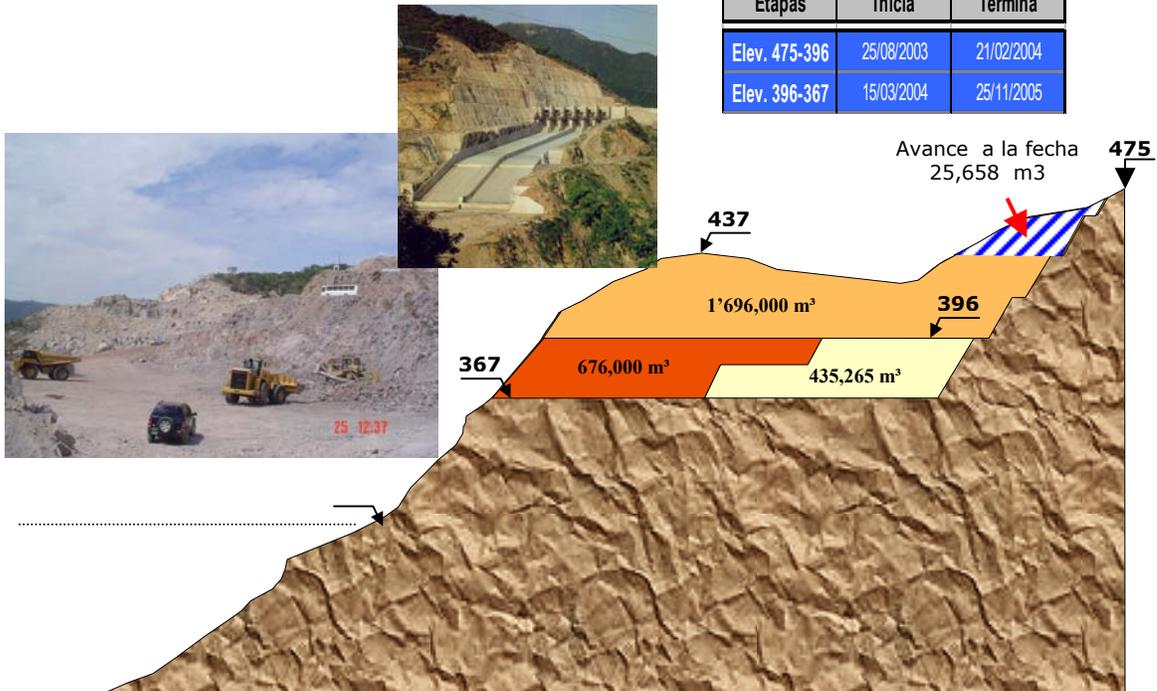


La Obra de excedencia, como su propio nombre indica, tiene la finalidad de desalojar el agua del río cuando el cauce de éste sobrepase la capacidad máxima de diseño de la cortina, es decir, la obra de excedencias es una obra destinada específicamente al control de avenidas para garantizar el gasto requerido y la seguridad de las estructuras.

OBRA DE EXCEDENCIAS

- ✓ Ubicación Margen Derecha
- ✓ Tipo Dos Canales de concreto revestido
- ✓ Tipo de Compuertas 6 compuertas radiales de 12 x 19 m
- ✓ Longitud Promedio 700 m
- ✓ Gasto Máximo 15,000 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Elevación de la Cresta 372 m
- ✓ Período de Retorno 10,000 años

**CANAL DE LLAMADA**



VERTEDOR		
Etapas	Inicia	Termina
Elev. 475-396	25/08/2003	21/02/2004
Elev. 396-367	15/03/2004	25/11/2005

El siguiente anexo fotográfico, es una secuencia de una voladura y sus implicaciones.



Se mide la distancia que existe entre el sitio de la voladura y los muros que se pretenden cuidar, se recaba información de estos para saber de las edades de los concretos y sus resistencias.

Después de realizados los barrenos la empresa encargada de proporcionar los explosivos los lleva al sitio de la voladura.



Se cargan los barrenos de acuerdo a la plantilla de diseño.



Cuando el explosivo ya es colocado se realiza el taco, esto es un tapón del material obtenido de la barrenación.



Personal encargado de los explosivos coloca un sismógrafo, con las graficas obtenidas de este se desarrolla este proyecto, y se calcula los kilogramos máximos

de explosivo que se puede colocar por barreno para no dañar estructura como la que se observa en las fotografías.



Sin duda la voladura libera una gran energía, cual si no es bien calcula nos puede dar problemas.



y por ultimo el material obtenido se separa, uno es llevado para la cortina y el material de mala calidad es desechado.

Este es el proceso que se sigue para todas las voladuras, pero sin embargo algunas voladuras son realizadas sin la supervisión de algún experto, o por la rapidez que exige el proceso constructivo de la presa.

Es por esto que este proyecto proporciona tablas para restringir las próximas voladuras, ya que cuando se este colando parte de la cortina y los vertedores, se estarán llevando acabo muchas mas voladuras y se tiene que tener todo el cuidado posible para no dañar estos materiales recién colocados.

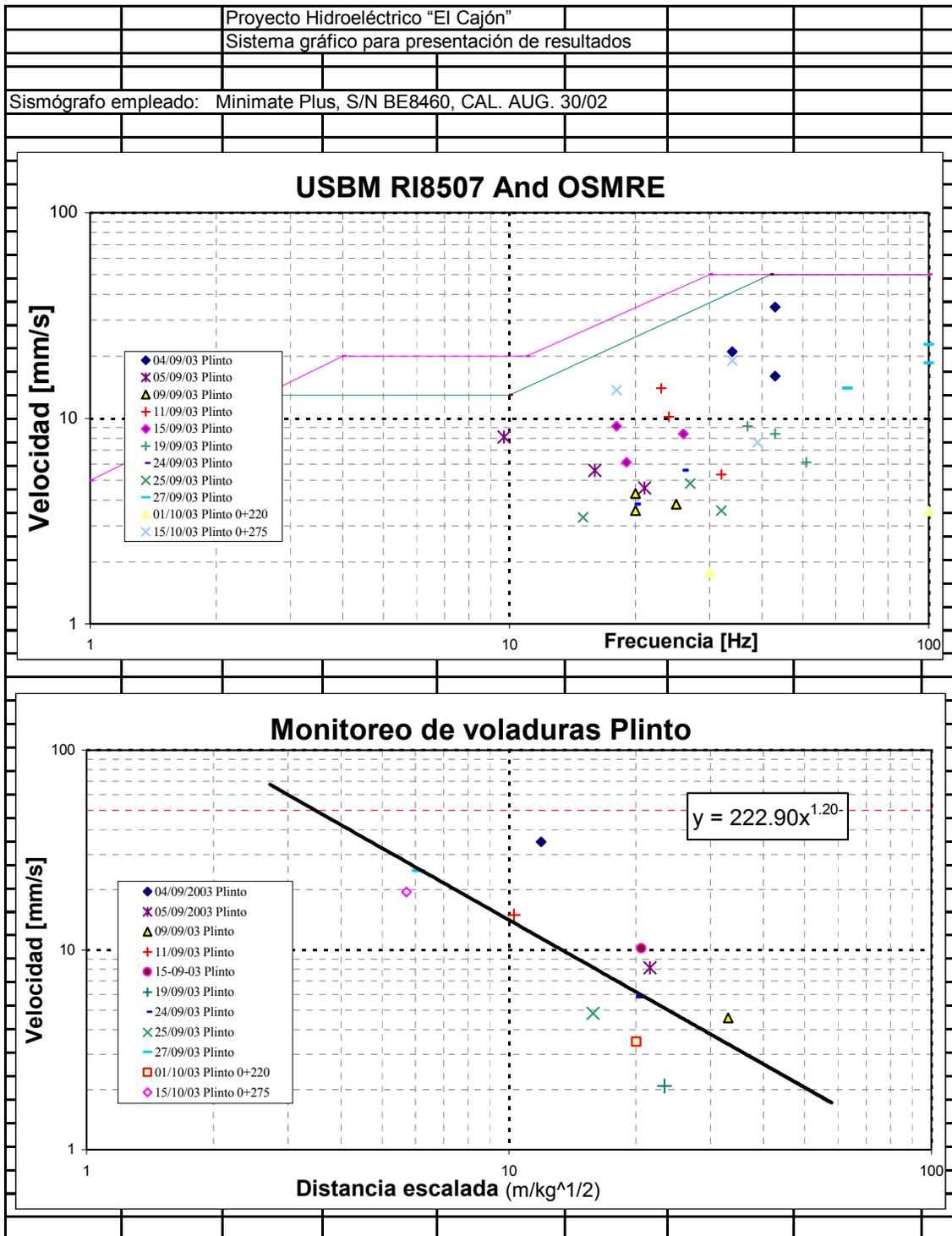
### III.IV RESUMEN DE MONITOREO DE VOLADURAS.

Es importante mencionar que se monitorea todas las zonas del P.H. El Cajón y se coloca el sismógrafo cuando las voladuras son cercanas a una estructura, se grafican los datos del sismógrafo para verificar si están dentro del límite permisible. La velocidad máxima de partícula que se acepta es  $V = 2'' \text{ in/s}$  (50.8 mm/s).

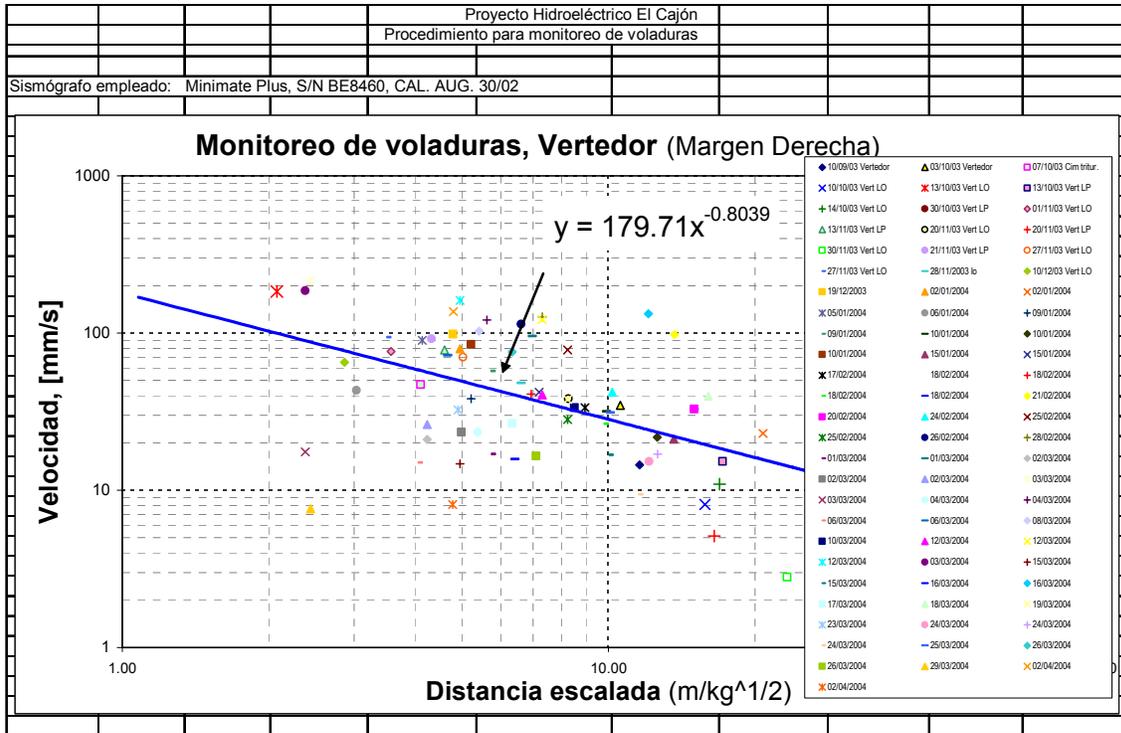
El formato es el siguiente:

		Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”			CP-DP-IGE-PRO-003 r01	
		Procedimiento para monitoreo de voladuras			Anexo 8.2	
Sismógrafo empleado: Minimate Plus, S/N BE8460, CAL. AUG. 30/02						
<b>Voladura en Plinto</b>						
		Fecha: 04/09/03		Distancia al sitio de medición:	56.5 m	
		03:32:15 p.m.		Carga máxima de explosivos:	22.5 kg/tiempo	
	Aceleración	Desplaz max	Velocidad	Frec	Distancia escalada	
	[g]	[mm]	[mm/s]	[Hz]		
canal 1:	1.250	0.28	34.80	43	11.91	
canal 2:	0.540	0.08	16.00	43		
canal 3:	0.520	0.10	21.08	34		
		psv	34.80	mm/s		
<b>Voladura en Plinto</b>						
		Fecha: 05/09/03		Distancia al sitio de medición:	114.0 m	
		04:04:25 p.m.		Carga máxima de explosivos:	28.0 kg/tiempo	
	Aceleración	Desplaz max	Velocidad	Frec	Distancia escalada	
	[g]	[mm]	[mm/s]	[Hz]		
canal 1:	0.190	0.05	5.59	16	21.54	
canal 2:	0.120	0.08	8.13	9.7		
canal 3:	0.130	0.05	4.57	21		
		psv	8.13	mm/s		
<b>Voladura en Plinto</b>						
		Fecha: 09/09/03		Distancia al sitio de medición:	160.0 m	
		14:11:41		Carga máxima de explosivos:	23.5 kg/tiempo	
	Aceleración	Desplaz max	Velocidad	Frec	Distancia escalada	
	[g]	[mm]	[mm/s]	[Hz]		
05/09/2003	canal 1:	0.027	0.00	3.81	25	33.01
16:04:25 p.m.	canal 2:	0.066	0.03	3.56	20	
	canal 3:	0.080	0.03	4.32	20	
		psv	4.57	mm/s		

### Formato Voladuras 1



Gráfica Sismógrafo 1



**Gráfica Sismógrafo 2**

Esta gráfica es la que se analizo para desarrollar este proyecto, es una grafica en la cual se vierten todos los datos del sismografo y se grafican para obtener una media de todas las voladuras realizadas y saber culas es su velocidad de partícula. Con esto se puede concluir si se estan llevando perfectamente las voladuras o si se tiene que cambiar los prametros ya establecidos para realizar las voladuras.

## **Capítulo IV. Procedimiento Utilizado en el “Proyecto Hidroeléctrico el Cajón”**

### **IV.1 Resultados del estudio de Control de Efectos**

Actualmente, en las excavaciones para los Túneles de Desvío y el Plinto de la Cortina, se están alternando en distancias cortas, actividades de uso de explosivos (voladuras) con la colocación de concretos hidráulicos e inyección de morteros de cemento para anclajes.

Con el objeto de evitar producir daños debidos a vibraciones por el uso de explosivos en lo concretos y morteros recién colocados (tiernos), en el **anexo 1 y anexo 2 de este capítulo**, están relacionadas las cantidades máximas de explosivos a utilizar contra las distancias mínimas que deben haber entre los sitios de voladuras y de colocación de los concretos o morteros de inyección de anclas. Además en el anexo 2 se muestran tablas ajustadas en base a un intenso monitoreo de vibraciones debidas a voladuras, tomadas en la margen derecha del proyecto.

Considerando que el concreto o mortero, presenta su fraguado inicial aproximadamente de 0 a 2:30 horas de haberse fabricado éstos, se permitirá que hasta antes de dicho tiempo, se realicen las voladuras con la cantidad de explosivo por tiempo especificada en el **anexo 2**,

También es recomendable no realizar voladuras entre 10 y 14 horas después de concluir cualquier colado o inyección de mortero, ya que estos se encuentran en la transición de su etapa más frágil de endurecimiento (se anexa gráfica tipo).

Y la última gráfica **Anexo 2** sirve para evitar producir daños a las estructuras que son definitivas, que en este caso es el Muro Alabeado y Plinto, además de los taludes.

Pronto se iniciara con los colados de las pilas para el vertedor y simultáneamente se estarán abatiendo taludes para construir la Plaza Cívica, estas voladuras se llevaran acabo cerca del Plinto, Casa de Máquinas y Muro Alabeado.

Las distancias entre las voladuras y zona de afectación varían de 100m a 300m es por so que se sugiere emplear tablas de cargas (**Anexo 2**) Máximas por tiempo para un barreno, esto con el fin de evitar daños, además de llevar acabo las recomendaciones antes mencionadas.

**ANEXO 1**



Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”

**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	2	10	5
20	2	20	8	20	21
30	3	30	18	30	46
40	6	40	31	40	82
50	9	50	49	50	128
60	13	60	70	60	185
70	18	70	95	70	251
80	24	80	125	80	328
90	30	90	158	90	415
100	37	100	195	100	513
150	84	150	438	150	1154
200	150	200	778	200	2051
250	234	250	1216	250	3205

Y=600X<sup>-1.4</sup>

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGÚN REPORTE DE MONITOREO DE VOLADURAS (GENERAL) 15/10/03,

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	2
10	1	10	3	10	8
20	2	20	11	20	30
30	5	30	26	30	68
40	9	40	46	40	120
50	14	50	71	50	188
60	20	60	102	60	270
70	27	70	139	70	368
80	35	80	182	80	480
90	44	90	230	90	608
100	55	100	284	100	751
150	123	150	640	150	1689
200	219	200	1138	200	3002
250	343	250	1777	250	4691

“CONTROL DE EFECTOS EXPLOSIVOS: CASO DE APLICACIÓN P. H. EL CAJÓN”

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	2
10	0	10	2	10	7
20	1	20	9	20	28
30	3	30	21	30	62
40	6	40	37	40	110
50	9	50	58	50	172
60	13	60	83	60	248
70	18	70	114	70	338
80	23	80	148	80	441
90	30	90	188	90	558
100	37	100	232	100	689
150	83	150	521	150	1550
200	147	200	927	200	2756
250	229	250	1448	250	4306

Y=399.53X<sup>-1.25</sup>

NOTA: FORMULA TOMADA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS (GENERAL)

## ANEXO 1



**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	3
10	0	10	3	10	11
20	0	20	11	20	46
30	1	30	26	30	103
40	2	40	46	40	183
50	3	50	71	50	285
60	4	60	102	60	411
70	6	70	139	70	559
80	8	80	182	80	730
90	10	90	230	90	924
100	12	100	284	100	1141
150	27	150	640	150	2568
200	48	200	1138	200	4565
250	74	250	1777	250	7133

Y=179.71X<sup>-0.8039</sup>

NOTA: FORMULA TOMADA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	1	10	3
20	0	20	2	20	13
30	0	30	5	30	29
40	1	40	9	40	51
50	1	50	15	50	79
60	1	60	21	60	114
70	2	70	29	70	156
80	2	80	37	80	203
90	3	90	47	90	257
100	3	100	59	100	318
150	7	150	132	150	715
200	13	200	234	200	1271
250	21	250	366	250	1986

Y=300X<sup>-0.8039</sup>

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGUN ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS DE VERTEDOR( MARGEN DERECHO)

**ANEXO 2**

**“CONTROL DE EFECTOS EXPLOSIVOS: CASO DE APLICACIÓN P. H. EL CAJÓN”**

RESUMEN DE RESULTANOS OBTENIDOS



**Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”**  
CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A CONCRETOS Y MORTEROS RECIEN COLOCADOS

**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

CONCRETO 8 a 12 horas		CONCRETO 12 horas a 3 días		a)C. 3 a 7 días días,b)C lanzado 2 a 6 horas, c)E. Electronicos	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=25mm/s (1.0 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=51mm/s (2.0 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	1	10	4
20	0	20	3	20	17
30	1	30	7	30	39
40	2	40	12	40	70
50	3	50	18	50	109
60	4	60	27	60	157
70	6	70	36	70	214
80	8	80	47	80	279
90	10	90	60	90	353
100	12	100	74	100	436
150	27	150	166	150	981
200	48	200	296	200	1743
250	74	250	462	250	2724

CONCRETO 7 a 28 días		a)C. > 28 días,b)C lanzado más de 6 horas		a)Concreto 0 a 4 horas,b) Concreto lanzado 0 a 2 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=60mm/s (2.4 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (3 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=100mm/s (4 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	2	5	3	5	6
10	7	10	11	10	23
20	26	20	46	20	93
30	59	30	103	30	210
40	105	40	183	40	373
50	164	50	285	50	583
60	235	60	411	60	840
70	321	70	559	70	1144
80	419	80	730	80	1494
90	530	90	924	90	1890
100	654	100	1141	100	2334
150	1472	150	2568	150	5251
200	2616	200	4565	200	9335
250	4088	250	7133	250	14586

$Y=179.71X^{\wedge}-0.8039$

NOTA: FORMULA OBTENIDA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

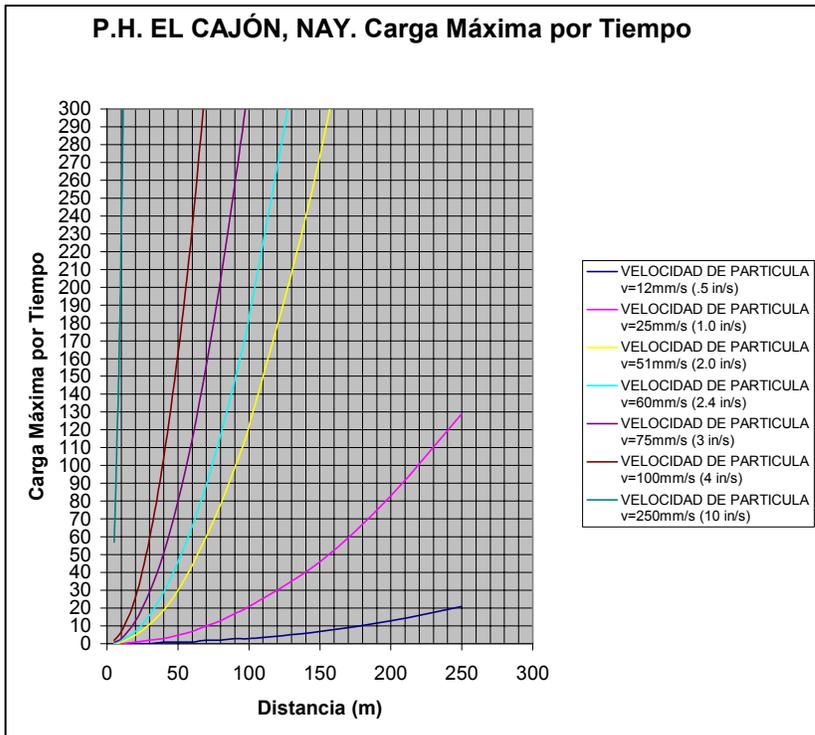
RESUMEN DE RESULTANOS OBTENIDOS



Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”  
CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A ESTRUCTURAS DEFINIIVAS

CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS

DAÑO A LA ROCA	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=250mm/s (10 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	57
10	230
20	918
30	2066
40	3673
50	5739
60	8264
70	11249
80	14692
90	18595
100	22957
150	51653
200	91827
250	143480



$Y=179.71X^{-0.8039}$

NOTA: FORMULA OBTENIDA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

## IV.II RESUMEN DE DATOS PROPUESTOS

### RESUMEN DATOS PROPUESTOS



**Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”**  
CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A CONCRETOS Y MORTEROS RECIEN COLOCADOS

### CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS

CONCRETO 8 a 12 horas		CONCRETO 12 horas a 3 días		a)C. 3 a 7 días días,b)C lanzado 2 a 6 horas, c)E. Electronicos	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=25mm/s (1.0 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=51mm/s (2.0 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	0
10	0	10	0	10	1
20	0	20	1	20	5
30	0	30	2	30	11
40	1	40	3	40	19
50	1	50	5	50	30
60	1	60	7	60	44
70	2	70	10	70	60
80	2	80	13	80	78
90	3	90	17	90	99
100	3	100	21	100	122
150	7	150	46	150	274
200	13	200	83	200	487
250	21	250	129	250	761

CONCRETO 7 a 28 días		a)C. > 28 días,b)C lanzado más de 6 horas		a)Concreto 0 a 4 horas,b) Concreto lanzado 0 a 2 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=60mm/s (2.4 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (3 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=100mm/s (4 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	2
10	2	10	3	10	7
20	7	20	13	20	26
30	16	30	29	30	59
40	29	40	51	40	104
50	46	50	80	50	163
60	66	60	115	60	234
70	89	70	156	70	319
80	117	80	204	80	416
90	148	90	258	90	527
100	183	100	319	100	651
150	411	150	717	150	1464
200	730	200	1276	200	2603
250	1141	250	1993	250	4067

Y=300X<sup>-0.8039</sup>

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGUN DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

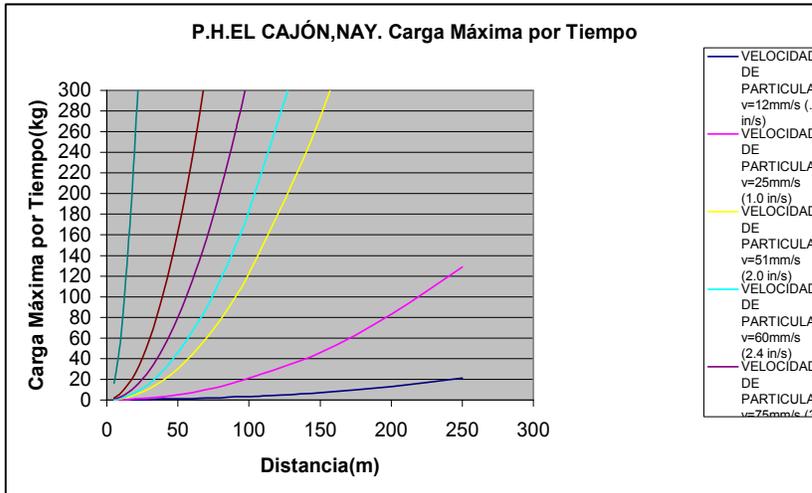
**RESUMEN DATOS PROPUESTOS**



**Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”**  
 CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A ESTRUCTURAS DEFINIIVAS

**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

DAÑO A LA ROCA	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=250mm/s (10 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	16
10	64
20	256
30	576
40	1024
50	1600
60	2304
70	3136
80	4096
90	5184
100	6400
150	14400
200	25600
250	40000



$Y=300X^{-0.8039}$

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGUN DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

## **CONCLUSION**

### **RECOMENDACIONES DEL USO DE EXPLOSIVOS. PILAS Y MUROS DE CONCRETO EN OBRA DE EXCEDENCIAS, P.H. EL CAJÓN**

La obra de excedencias garantiza el gasto requerido para la funcionalidad de la central hidroeléctrica, controlando las avenidas extraordinarias del río Santiago y la seguridad de la obra de contención. La obra de excedencias consta de tres estructuras principales:

Canal de llamada, corresponde a la entrada del agua al vertedor; es una excavación a cielo abierto en la ladera, con bermas y tratamientos en taludes,

Estructura de control, es donde se realiza la regulación del embalse cuando se llegue a los niveles máximos de operación, consta de cimacio, pilas, muros laterales, compuertas, losa puente y mecanismo de manejo de las compuertas; la estructura de control es de concreto reforzado, tiene seis compuertas de 12 m de ancho cada una, con pilas intermedias de 3,80 m de espesor, con un ancho total de 91,0 m. y

Canal de descarga, es la salida del agua, la estructura la constituyen muros laterales, losa, aireadores, cubeta deflectora y canal de regreso al río.

A continuación, dada su importancia en el presente trabajo que busca controlar el posible daño por efectos de voladuras, se describen brevemente los elementos principales de la estructura de control:

El nivel superior del cimacio (cota 372,0) y el nivel del puente de maniobras (cota 396,0) las compuertas radiales son de 25 m de radio operadas mediante un sistema de servomotores apoyado en la viga testera en el extremo de aguas debajo de pilas laterales. Además de las compuertas, la estructura de control dispone de ranuras para la colocación de agujas de cierre temporal para mantenimiento de las compuertas radiales. La longitud del cimacio en la dirección del flujo es de 53,6 m.

El cimacio cuenta con una galería de inyección y drenaje que se conecta con la galería GD-2 con el mismo objeto de servir para las inyecciones profundas y el drenaje, recolectando y conduciendo las filtraciones de la ladera derecha a una galería central que va del cimacio hasta el extremo de aguas abajo del canal del vertedor. En el extremo de aguas abajo del cimacio y a todo lo largo del canal del vertedor, se tienen colectores de filtraciones en arreglo de espina de pescado que se conectan con la galería central. En la galería del cimacio se efectúa la pantalla de inyección, este tratamiento permite reducir la fuerza de sub-presión en la estructura de control.

En el canal de llegada, junto a la estructura de control, se dispone de una losa de concreto y muros laterales de 38,0 m de largo que tiene la función de crear una longitud mayor de gradiente entre la presión del embalse y la presión nula en el extremo opuesto.

La estructura de control se revisa por estabilidad general y resistencia, las cargas son las mismas pero manejadas de diferente manera. Por ejemplo para la revisión de la estabilidad se revisan las fuerzas que afectan al conjunto en la dirección al flujo y que producen efectos de inestabilidad como son: desplazamiento y flotación. Para la revisión por resistencia se emplean las fuerzas que producen los máximos esfuerzos en los electos estructurales (carga axial, flexión y cortante) y así determinar el acero de refuerzo requerido en cada uno de ellos.

Todas estas estructuras serán construidas simultáneamente con la Plaza Cívica, por lo que se desarrollaran intensas voladuras.

Al efectuar una voladura, la vibración que esta produce se ve afectada por :

La distancia entre la voladura y las estructuras que se desean proteger, Los tiempos de fraguado de los concretos, y Las cargas máximas de explosivo que se recomiendan a un determinado tiempo de fraguado de los concretos y a cierta distancia de los mismos.

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 dias.b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	1	10	3
20	0	20	2	20	13
30	0	30	5	29	29
40	1	40	9	29	29
50	1	50	15	29	29
60	1	60	21	29	29
70	2	70	29	29	29
80	2	80	29	29	29
90	3	90	29	29	29
100	3	100	29	29	29
150	7	150	29	29	29
200	13	200	29	29	29
250	21	250	29	29	29

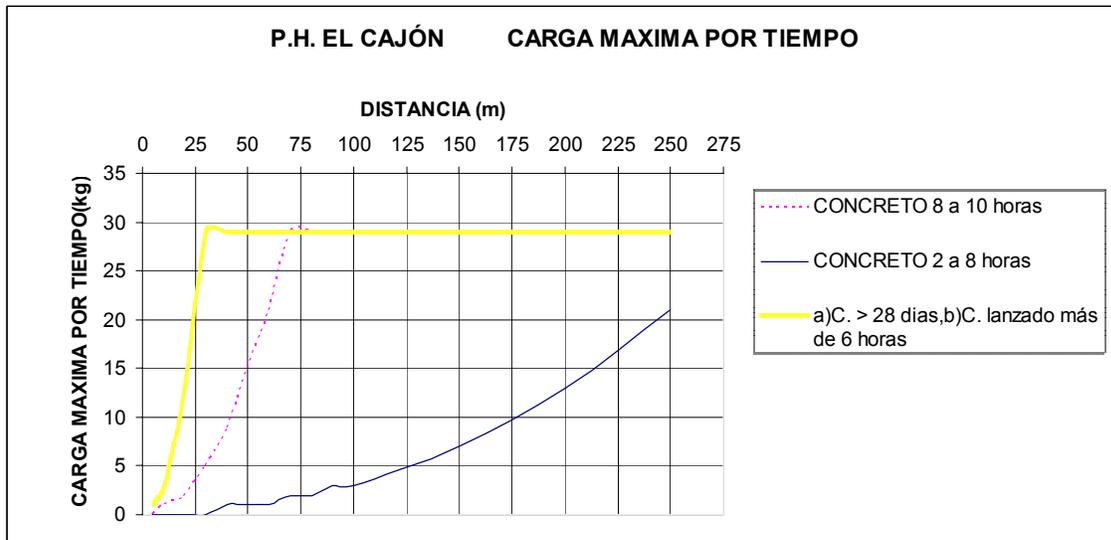
$Y=300X^{-0.8039}$

Nota: A partir de que el concreto tiene mas de 8 horas de ser colocado se puede cargar con más explosivo el barreno, sin embargo en el presente trabajo se seguirá restringiendo a 29 kg máximo por cada barreno.

Es recomendable no realizar voladuras entre 10 y 14 horas después de concluir cualquier colado o inyección de mortero; ya, en este intervalo, los concretos se encuentran en transición de su etapa más frágil de endurecimiento.

En el plano se puede ver claramente el sitio donde será construida la “PLAZA CIVICA”; mediante una cuadrícula de 10m x10m, se puede calcular fácilmente la distancia entre voladura y estructura. A continuación se muestra una gráfica de la relación entre D vs. Carga máx., Se propone dar esta gráfica a personal de campo involucrado en este trabajo, para que conozcan las restricciones en el cargado de barrenos; asimismo, se sugiere tener personal calificado de campo para la revisión de cada voladura.

Gráfica para campo



## **BIBLIOGRAFIA**

Olofsson S., Applied explosives technology for construction and mining, Nora Trickeri, Sweden, 1998.

Dowding Ch., Suggested method for blasting vibration monitoring, international journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol.29. No.2, March 1992, Pergamon Press.,

Yáñez David y Herrera S., “Uso de explosivos en el proyecto Termoeléctrico Topolobampo II. Sin., IV Reunión Nacional de Mecánica de Rocas, Taxco, Gro., septiembre de 1993.

Yáñez David y Herrera S., “Planeación Geotécnica para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Ampliación Temascal, Oaxaca.” Primer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles, Ciudad de México. 1995.

Yáñez David y Herrera S., “Excavación del recinto para la casa de maquinas del proyecto Hidroeléctrico Paliación Temascal,. Oax., Revista del colegio de ingenieros Civiles de México, julio de 1996

Terra Corporación, S.A. de C.V. “Manual Técnico de soluciones Eficientes para Voladuras.

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>4</b>
I.I Antecedentes Históricos.....	4
I.II Clasificación de los explosivos.....	6
I.III Diseño de voladuras.....	14
I.IV Almacenamiento y Normatividad en el uso de explosivos.....	28
<b>CAPITULO II</b>	
<b>II Generalidades del “Proyecto Hidrológico el Cajón” .....</b>	<b>32</b>
II.I Información técnica del proyecto.....	32
II.II Localización.....	35
II.III Datos principales.....	36
<b>CAPITULO III</b>	
<b>III Alternativas de Uso de Explosivos.....</b>	<b>39</b>
III.I Efectos y controles de vibración y ruido en voladuras a cielo Abierto.....	39
III.II Pronóstico de Efectos.....	45
III.III Estudio de monitoreo sísmico realizado en el P. H. El Cajón y sus Implicaciones en las Estructuras Definitivas Tepic- Nayarit.....	46
III.IV Resumen de Monitoreo de voladuras.....	55
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>IV Procedimiento Utilizado en el “Proyecto Hidrológico el Cajón” .....</b>	<b>58</b>
IV.I Resultados del estudio de Control de Efectos.....	58
IV.II Recomendaciones del uso de explosivos. Pilas y Muros de Concreto en Obra de Excedencias, P .H. El Cajón.....	64
<b>Conclusiones.....</b>	<b>66</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La vibración de cualquier material es la oscilación de las partículas en torno a su posición de equilibrio. En roca, la velocidad, periodo, amplitud y frecuencia de oscilación, pueden determinar si esta sufrirá daño o colapsará. Con la medición de las vibraciones generadas por voladuras en puntos cercanos a ella, se puede estimar la posibilidad de daño que este punto puede sufrir. Adicionalmente es posible relacionar esta vibración con las variables que intervienen en el proceso de voladura, pudiendo usar para prevenir las vibraciones producidas por las voladuras siguientes. El monitoreo de vibración por voladura puede ser utilizado como herramienta de diagnóstico de esta; en efecto, una adecuada interpretación de los registros permite determinar el grado de interacción entre las variables de una voladura.

De un análisis de un registro de vibración, es posible determinar en otro, lo siguiente: cargas, detonando en una secuencia de encendido dada; dispersión en los tiempos de encendido de los retardos, detonación de cargas adyacentes por simpatía y cuantificación de los niveles de velocidad y desplazamiento de partícula de roca.

Otro aporte importante de empleo de esta técnica, es el de obtener los niveles de vibración absolutos, para cada una de las cargas explosivas, las que asociadas a las distancias en que se registra la detonación conforman una buena base de datos que permite construir modelos confiables de vibración, con los cuales se pueden evaluar diferentes modificaciones a los distintos parámetros de la voladura, tales como tipo y cantidad de explosivo según distancia y evaluar el daño potencial que esa vibración puede producir.

Las vibraciones generadas por una voladura y el conocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, permiten estimar la posibilidad de ocasionar daño. Los altos niveles de vibración pueden dañar la roca. Produciendo fracturas nuevas o extendiendo y dilatando fracturas existentes. Bajo este contexto puede ser considerada como un esfuerzo de deformación del macizo.

El uso de explosivos es motivo de estudios sumamente especializados de varias decenas de horas e inclusive en algunos países de estudios de posgrado. El alcance de este trabajo es a nivel introductorio y servirá para crear una visión global básica.

Sin duda el avance que se tenga dentro de este ámbito y el buen empleo de las técnicas de aplicación dará un mayor beneficio, los temas que no se tienen que olvidar son:

las normas de control y los diferentes tipos de explosivos que existen así como su funcionamiento, el manejo de estos materiales, los sistemas de iniciación, el diseño de voladuras, efecto sobre estructuras, equipos de medición, los aspectos

ambientales y casos especiales de aplicación que muestren las técnicas más actuales en el uso de los explosivos.

En el proyecto hidroeléctrico “ EL CAJON “ es el mejor ejemplo en donde los explosivos tienen un papel primordial para la construcción de tan importante proyecto, los explosivos y las técnicas recientes de aplicación brindaron la posibilidad de desarrollar esta presa tan importante. El objetivo de este trabajo es dar una serie de recomendaciones para el uso de explosivos y pretende explicar lo importante que es en una obra como esta el control de efectos explosivos.

Ya que es imposible conocer al cien por ciento el comportamiento de la roca en una voladura, ya sea porque la roca misma presenta una serie de complicaciones para realizar los barrenos, ya sea por la estratificación de la misma, que hace un cuanto difícil obtener las verdaderas condiciones de diseño o por el cargado de barrenos que de esto depende casi en su totalidad que una voladura sea llevada a cabo exitosamente.

Con el avance tecnológico se incrementa la utilización de explosivos y por lo tanto se debe de incrementar el estudio del Control de Efectos de los explosivos ya que es de vital importancia el conocer estos efectos, para que así no sea contraproducente la aplicación de estos. Se debe garantizar la seguridad de todas las personas que trabajan en el sitio y del equipo mismo, por eso es que se tiene que acudir a las técnicas más modernas en voladuras ya que sin duda con esto se logra un buen trabajo a muy bajo costo.

Al término de este trabajo se indica la bibliografía para la integración de estas notas, para que los lectores que así lo deseen puedan consultar con mayor detalle los temas de su interés.

## **CAPITULO I MARCO TEORICO**

### **I.I ANTECEDENTES HISTORICOS**

Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química y que son capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión como en el caso de la pólvora o por causa de un golpe, impacto, fricción, etc. en cuyo caso recibe el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio.

Cuando esta violenta transformación en gases ocurre en un lugar cerrado, como puede ser un barreno en un manto de roca, se producen presiones muy elevadas que fracturan la roca.

La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre. Se cree que los descubridores de la pólvora fueron los chinos, pero su uso se limitó exclusivamente a exhibiciones pirotécnicas con las que iluminaban sus celebraciones.

Más tarde, en Europa fue Bacon el que publicó una fórmula de la pólvora con instrucciones detalladas para su fabricación, poco después, y hasta la fecha, se usó en armas de fuego.

El mismo Hernán Cortés se surtía de pólvora fabricándola con carbón vegetal, azufre recogido en cráteres de nuestros volcanes y con salitre de las orillas de los lagos.

Posteriormente se substituye el salitre por clorato de potasio, lo que la hizo más potente y más tarde con nitrato de sodio conocido como Nitro de Chile, pues abunda en ese país.

Hacia el 1850 Sobrero descubrió la Nitroglicerina, explosivo muy potente, pero muy sensible, es decir estalla con cualquier pequeño golpe lo que la hace peligrosa. Se utilizó en voladuras para sustituir a la pólvora pero su uso se limitó por la peligrosidad.

Entonces apareció Alfredo Nobel que inventó la dinamita Nitroglicerina que no es otra cosa que Nitroglicerina mezclada con una sustancia inerte como puede ser una tierra dictomacea (para fijar ideas puede ser un polvo de ladrillo).

De la proporción de Nitroglicerina y material inerte depende su poder explosivo, el porcentaje de Nitroglicerina representa la fuerza relativa del explosivo.

También inventó las primeras dinamitas Gelatinas y disolver algodón colodión en Nitroglicerina.

Durante los últimos 50 años, el Nitrato de Amonio ha desempeñado un papel cada vez más importante en los explosivos. Se usó primeramente como ingrediente de la dinamita.

Las principales ventajas de los hidrogeles eran su economía, alta densidad de carga y desempeño, baja sensibilidad de impacto, ausencia de ingredientes que causan dolores de cabeza y algo importantísimo su resistencia al agua.

En 1958, DuPont empieza la fabricación de hidrogeles empacados en bolsas, las primeras formulaciones no eran sensibles a fulminantes regulares y no se propagarían seguramente en barrenos de diámetro pequeño sin el uso de

sensibilizadores explosivos. En este mismo año cuando, en Mesabi Range, Minnesota, dicho producto es bombeado dentro de barrenos de diámetro grande usando camiones a granel.

Asimismo, se desarrollan conectores de retardo para cordón detonante, que proporcionan una demora bastante precisa del cordón detonante. En 1969 DuPont patento el sensibilizador que proporciona a los hidrogeles la sensibilidad requerida para ser iniciados con un fulminante de potencia 6, en cartuchos de 2,22 cm (7/8”) de diámetro, a temperaturas normales. En 1976 se introducen fulminantes de retardo no eléctrico, los cuales proporcionan mejoras en la regulación del orden de encendido y también redujeron en forma considerable los niveles de ruido, es en esta época cuando se desarrollan también los explosivos emulsionados.

En el mercado actual de los explosivos no solo se realizan amplias investigaciones, orientadas a obtener poderosas cargas de energía, que sirvan para construir un mundo moderno, con reglamentos gubernamentales más estrictos, inquietud pública en el ámbito de seguridad, ruido y vibraciones, si no también se investiga en productos que van siendo perfeccionados día con día en sus composiciones tanto químicas como físicas, con el objetivo primordial de encontrar la excelencia, en el renglón de seguridad, en el manejo y uso de explosivos, para todos y cada uno de los protagonistas en el desarrollo de las actividades constructivas y extractivas de un país como México.

## **I.II CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS**

Los ingredientes usados en la fabricación de explosivos se definen como: explosivos bases, oxidantes, antiácidos y absorbentes. Un explosivo base es un sólido o líquido que bajo la acción de suficiente calor o impacto se transforma en un producto gaseoso con acompañamiento de energía calorífica. Los combustibles y oxidantes se agregan para lograr el balance del oxígeno.

Un antiácido se agrega para incrementar la estabilidad en almacenaje y un absorbente se agrega para absorber o proteger los explosivos bases.

Un agente explosivo es cualquier material o mezcla compuesto por un combustible y un oxidante de tal modo que ningún de sus ingredientes sea explosivo base.

### **Cordón detonante Non-electric. (NONEL)**

Este es un cordón detonante muy útil para voladuras subterráneas pues se eliminan las fallas por electricidad estática. También se usa en voladuras a cielo abierto para evitar vibraciones detonando barreno por barreno al igual que el cordón detonante y en zonas altas donde se quieren tormentas eléctricas.

El NONEL detona en una sola dirección por lo que hay que tener cuidado en su acoplamiento, también existen conectores especiales de retardo constituidos por el mismo tubo de NONEL en longitudes de 2 pies con terminales de plástico. El NONEL tiene una gran resistencia al agua ya que un extremo está sellado contra la cápsula de detonación y el otro está sellado contra una Terminal de plástico.

Cada explosivo tiene características específicas definidas por sus propiedades, el conocimiento de estas propiedades es un factor importante para el buen diseño de voladuras, además permiten elegir el más adecuado de ellos para algún caso específico

### ***Fuerza.***

La fuerza suele considerarse como la capacidad de trabajo útil de un explosivo. También suele llamarse potencia y se originó de los primeros métodos para clasificar los grados de las dinamitas. Las dinamitas puras o nitroglicéricas, fueron medidas por el porcentaje de nitroglicerina en peso que contenía cada cartucho, por ejemplo, la dinamita nitroglicérica de 40% de fuerza, contiene un 40% de nitroglicerina; una de 60% contiene 60% de nitroglicerina, etc. La fuerza de acción de este tipo de explosivo se toma como base para la comparación de todas las demás dinamitas. Así pues la fuerza de cualquier otra dinamita, expresada en tanto por ciento, indica que estalla con tanta potencia como otra equivalente de dinamita nitroglicérica en igualdad de peso.

Pocas son las personas entre las que usan dinamitas que entienden bien la energía relativa de las dinamitas de diferentes porcentajes de fuerza. Suele creerse que la energía verdadera desarrollada por estas distintas fuerzas guarda proporción directa con los porcentajes marcados. Se cree por ejemplo, que la dinamita de 40%

es dos veces más fuerte que la de 20% y que la de 60% es tres veces más fuerte que la de 20%. Estas relaciones simples son incorrectas debido principalmente a que una nitroglicerina de mayor fuerza ocupa casi el mismo espacio en el barreno pero produce más gases, por lo tanto las presiones son mayores y el explosivo resulta más eficiente.

Esto ha sido mostrado por cuidadosas pruebas de laboratorios cuyos resultados se indican en la siguiente Tabla:

UN CARTUCHO	60%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%
60%	1	1.12	1.2	1.28	1.38	1.5	1.63	1.8	2.08
50%	0.89	1	1.07	1.14	1.23	1.34	1.45	1.6	1.85
45%	0.83	0.93	1	1.07	1.15	1.25	1.36	1.5	1.73
40%	0.78	0.87	0.94	1	1.08	1.17	1.27	1.4	1.53
35%	0.72	0.81	0.87	0.93	1	1.09	1.18	1.3	1.5
30%	0.67	0.75	0.8	0.85	0.92	1	1.09	1.2	1.38
25%	0.61	0.69	0.74	0.78	0.85	0.92	1	1.1	1.27
20%	0.55	0.62	0.67	0.71	0.77	0.83	0.9	1	1.15
15%	0.48	0.54	0.58	0.61	0.76	0.72	0.78	0.86	1

**Tabla I.I Indica el número de cartuchos de determinada fuerza necesarios para igualar un cartucho de diferente fuerza.**

Hay que recordar que dos explosivos no pueden tener exactamente el mismo desempeño aunque sean del mismo tipo debido a que también intervienen las características del material que es volado y el grado de compactación que se dé al explosivo.

**Densidad de empaque.**

La densidad de empaque de los explosivos se expresa como el número de cartuchos por caja de 25 kilogramos (**TABLA I.II**). Para ambos casos hay que tener en cuenta que el número de cartuchos es aproximado y puede haber una variación del 3%.

Este dato es valioso pues permite dosificar los explosivos simplemente contando los cartuchos.

CLASES DE	2.22 x	2.54 x	2.857x	3.175x 20.32cms	5.71x	6.35x	7.62 x
DINAMITA:	20.32cms	20.32cms	20.32cms	(1 1/4x8")	40.64 cms	40.64 cms	40.64cms
	(7/8x8")	(1x8")	(1 1/8x8")		(2 1/4x16")	(2 1/2x16")	(3 x 16")
Dinamita Extra 40%	242	184	151	121	20	14	10
Dinamita Extra 60%	242	184	151	121	20	14	10
Gelatina Extra 30%	193	151	123	98	15	12	8
Gelatina Extra 40%	196	153	126	99	16	12	8
Gelatina Extra 60%	207	164	135	108	16	12	9
Gelamex # 1	236	180	150	121	21	16	11
Gelamex # 2	261	198	165	134	20	16	11
Mexobel 2	---	248	201	165	25	20	14
Duramex G	309	248	204	---	25	20	14

**Tabla I.II Número de cartuchos por caja de 25 Kg. Para las dinamitas comerciales en sus diferentes medidas**

**Densidad (Peso volumétrico)**

Este dato nos sirve, al diseñar un barreno, para estar seguro que el espacio destinado a los explosivos es suficiente para alojar los kilogramos calculados. Se mide en  $\text{gr/cm}^3$ ,  $\text{Kg./lt}$  ó  $\text{Kg/m}^3$ .

La (TABLA I.III) proporciona las densidades de las dinamitas, los agentes explosivos y los hidrogeles más usuales.

DINAMITAS		AGENTES EXPLOSIVOS		HIDRÓGELES	
Gelatina Extra 40%	1.57	"Mexamon" SP	0.81		
60%	1.44	SP-LD	0.7		
75%	1.39			Tovex 100	1.1
Dinamita Extra 40%		"Mexamon" C	0.85		
60%	1.23	C-LD	0.64		
Dinamita Esp. 45%				Tovex 700	1.18
Gelamex No. 1	1.28				
No. 2	1.16	Super "Mexamon" D	0.65	Tovex P	1.2
Gelatina Alta Velocidad					
Geomex 60%	1.47	NA – AC	0.8	Tovex Extra	1.35
Duramex G	1	Anfomex "X"	0.8	Godyne	1.2
Dinamex A	1.23	Anfomex "BD"	0.65		
Toval	1.6				

**Tabla I.III Densidad de explosivos en g/cm.**

Una guía útil para proyectar voladuras es el saber aproximadamente cuantos kilogramos de explosivos se cargarán por metro lineal de agujero perforado (barreno).

La (**Tabla I.IV**) relaciona la densidad del explosivo en g/cm<sup>3</sup> y el diámetro del barreno en cm, o en pulgadas, con los kilogramos de explosivo por metro cargado de barreno.

Por ejemplo, si se tuviera un explosivo con una densidad de 1.29 g/cm<sup>3</sup> y un diámetro del barreno de 4 pulgadas (10.16 cm.) al consultar estos valores en la (**Tabla I.IV**), su intersección, nos indica que necesitaremos 10.458 gr./cm<sup>3</sup> de explosivos por cada metro lineal de barreno.

DIÁMETRO		VOLUMEN	KILOGRAMOS DE EXPLOSIVO POR METRO LINEAL DE BARRENO PARA UNA DENSIDAD DADA.				
			60 grs	65 grs	75 grs	80 grs	1.10 grs
PULGADAS	cms	cm <sup>3</sup> /ml	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
7/8	2.22	387.08	0.232	0.252	0.29	0.31	0.426
1	2.54	506.71	0.304	0.329	0.380	0.405	0.557
1 1/4	3.18	794.23	0.477	0.516	0.596	0.635	0.874
1 1/2	3.81	1140.09	0.684	0.741	0.855	0.912	1.254
1 3/4	4.45	1555.29	0.933	1.011	1.166	1.244	1.711
2	5.08	2026.83	1.216	1.317	1.520	1.621	2.23
2 1/2	6.35	3166.93	1.9	2.059	2.375	2.534	3.484
3	7.62	4560.38	2.736	2.964	3.42	3.648	5.016
3 1/2	8.89	6207.18	3.724	4.035	4.655	4.966	6.828
4	10.16	8107.34	4.864	5.207	6.081	6.486	8.918
4 1/2	11.43	10260.85	6.157	6.670	7.696	8.209	11.287
5	12.70	12667.72	7.601	8.234	9.501	10.134	13.935
5 1/2	13.97	15327.94	9.197	9.963	11.496	12.262	16.861
6	15.24	18241.51	10.945	11.857	13.681	14.593	20.066
6 1/2	16.51	21408.44	12.485	13.915	16.056	17.127	23.549
7	17.78	24828.72	14.897	16.139	18.622	19.863	27.312
7 1/2	19.05	28502.36	17.101	18.527	21.377	22.802	31.352
8	20.32	32429.35	19.458	21.079	24.322	25.943	35.672
8 1/2	21.59	36609.7	21.966	23.796	27.457	29.288	40.271
9	22.86	41043.40	24.626	26.678	30.783	32.835	45.148
10	25.40	50670.87	30.403	32.936	38.003	40.537	55.739
11	27.94	61311.75	36.787	39.853	45.984	49.049	67.443
12	30.48	72966.05	43.780	47.428	54.725	58.373	80.263

**Tabla I.IV Carga de Barrenos**

### ***Velocidad de detonación.***

Es la velocidad expresada en metros por segundo, con la cual la onda de detonación recorre una columna de explosivo. La velocidad puede ser afectada por el tipo de producto, su diámetro, el confinamiento, la temperatura y el cebado. Las velocidades de detonación de los explosivos comerciales fluctúan desde cerca de 1,525 m/seg (5,000 pies/seg) hasta más de 6,705 m/seg (22,000 pies/seg). Pero la mayor parte de los explosivos usados tienen velocidades que varían de 3,050 a 5,040 m/seg (de 10,000 a 18,000 pies/seg). Mientras mayor sea la rapidez de la explosión, mayor suele ser el efecto de fragmentación.

### ***Sensibilidad.***

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

En la industria de los explosivos, la prueba más usada es la de la sensibilidad al fulminante, los cuales varían desde el número 4 hasta el 12. El uso del fulminante No. 6 es la prueba estándar, su contenido es de 2 gramos de una mezcla de 80% de fulminato de mercurio y 20% de clorato de potasio, o alguna sustancia equivalente. Con el uso de este fulminante se clasifican los productos explosivos, si estallan se les denomina explosivos, si sucede lo contrario se les llama agentes explosivos. Para comparar las sensibilidades entre diferentes productos se utilizan fulminantes de diferente potencias, cuanto más alto sea el número de la cápsula mayor será la sensibilidad del explosivo.

### ***Resistencia al agua.***

En forma general se define como la capacidad del explosivo para soportar la penetración del agua. Más precisamente, la resistencia al agua es el número de horas que el explosivo puede hallarse cargado en agua y aún ser detonado.

Obviamente, en trabajos en seco esta propiedad no tiene importancia, pero si el explosivo va a estar expuesto al agua puede ser afectado en su eficiencia o desensibilizarse al grado de no detonar, provocando una falla en la propagación de la detonación.

La resistencia del producto no sólo depende del empaque y de la capacidad inherente del explosivo para resistir el agua. La profundidad del agua (presión) y el estado de reposo o movimiento de la misma afectan el tiempo de resistencia al agua del explosivo.

Se originan de la detonación de explosivos principalmente bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua, los cuales no son tóxicos en el sentido clásico de la palabra, pero también se forman en cualquier detonación gases venenosos como el monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

En trabajos a cielo abierto las emanaciones se pueden dispersar rápidamente por el aire, por lo que provocan poca preocupación, pero en trabajos subterráneos deben considerarse detenidamente, ya que las emanaciones no se disipan fácilmente y en este caso la ventilación es de fundamental importancia. También hay que considerar que las emanaciones provocan, mientras se disipan, tiempos de espera para poder reanudar los trabajos. Tanto la naturaleza como la cantidad de gases venenosos varían en los diferentes tipos y clases de explosivos. Algunos de los factores que pueden incrementar los gases tóxicos son: fórmula pobre del producto, cebado inadecuado, falta de resistencia al agua, falta de confinamiento, reactividad del producto con la roca y reacción incompleta del producto.

### ***Inflamabilidad.***

Se define como la facilidad con la cual un explosivo o agente de voladura puede iniciarse por medio de llama o calor.

En el caso de las dinamitas, la mayoría se incendian con facilidad y se consumen violentamente. Pero hay varios explosivos que requieren que se les aplique una flama exterior en forma directa y continua para que logren incendiarse.

### ***Selección del explosivo.***

Para seleccionar el explosivo a usarse en una situación determinada, es indispensable tener en cuenta su costo y sus propiedades. Deberá escogerse aquel que proporcione la mayor economía y los resultados deseados. Como una orientación se presenta a continuación la TABLA I.V con las propiedades de los explosivos, y el uso sugerido.

RESISTENCIA AL AGUA	TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	EMANACIONES	U S O
Buena	Dinamita Nitroglicerina	Nitroglicerina	----	Alta	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Regular	Extra	Nitroglicerina y amoniaco	20 a 60%	Alta	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Muy mala	Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto (canteras)
De buena a excelente	Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy alta	De muy pocos gases a nulos	Sismología. Trabajos submarinos y subterráneos.
Ninguna	ANFO	Amoniaco	----	Alta	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.
Excelente	Hidrógeles	Amoniaco	40 a 75%	Muy alta	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.

**Tabla I.V Selección y propiedades de los explosivos más comunes en construcción**

### **1. III DISEÑO DE VOLADURAS**

El uso de los explosivos es más una ciencia que arte hasta ahora el método mas económico para fragmentar la roca es mediante el uso de explosivos. La teoría esta soportada por la práctica de tal manera que el diseño de voladuras se realiza más por la relación entre parámetros que mediante fórmulas teóricas por ejemplo: la relación entre el diámetro y el bordo. Es necesario comprender como trabaja el explosivo en la roca, para lo cual se requiere del conocimiento de las propiedades de los elementos, la roca y los explosivos.

En relación a la roca se puede decir lo siguiente: Calidad.- tenemos una gran variedad en la calidad de los macizos rocosos en función de su estructura, y resistencia (caracterización del macizo rocoso).

Las siguientes son sólo reglas una guía, las cuales se irán ajustando de acuerdo a las características específicas de cada operación

#### **BORDO (B) m Ecuación 1**

$$B = 20 \text{ a } 40 (Db)$$

Donde:

20 a 40 = Factor de dureza de la roca.

Db = Diámetro del barreno.

#### **ESPACIAMIENTO (E) m Ecuación 2**

$$E = 1 \text{ a } 1.8 (B)$$

Donde:

1 a 1.8 = Relación de espaciamiento.

B = Distancia del bordo.

#### **CARGA DE FONDO (Cf) m Ecuación 3**

$$Cf = 0.3 \text{ a } 0.5 (B) + S$$

Cf = 0.3 a 0.5 veces el bordo + la sub-barrenación

Donde:

0.3 a 0.5 = Factor de dureza de la roca

B = Distancia del bordo

S = Longitud de la sub-barrenación

#### **TACO (T) m Ecuación 4**

$$T = 0.7 \text{ a } 1.3 (B)$$

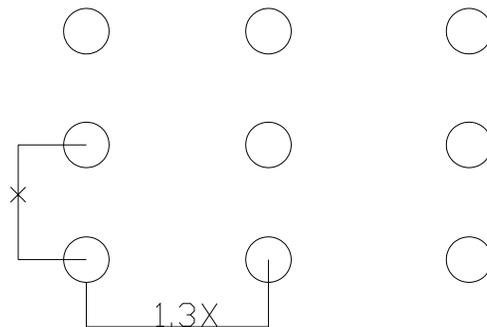
Normalmente la altura del taco o la parte sin cargarse es igual al bordo.

At = B



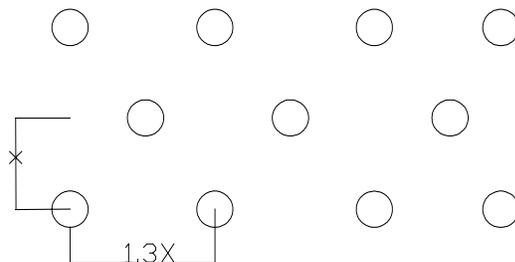
Observando en la superficie del banco, las áreas fracturadas alrededor de los barrenos pueden ser representadas como círculos. Es lógico asumir que todos los puntos en la superficie deben caer dentro de uno de esos círculos para que ocurra una fragmentación efectiva (**figura 1**)

La plantilla rectangular (**figura 1**), tiene bordo menor que el espaciamiento. Y como en la cuadrada (**figura 2**) también están alineados detrás de los de la línea del frente.



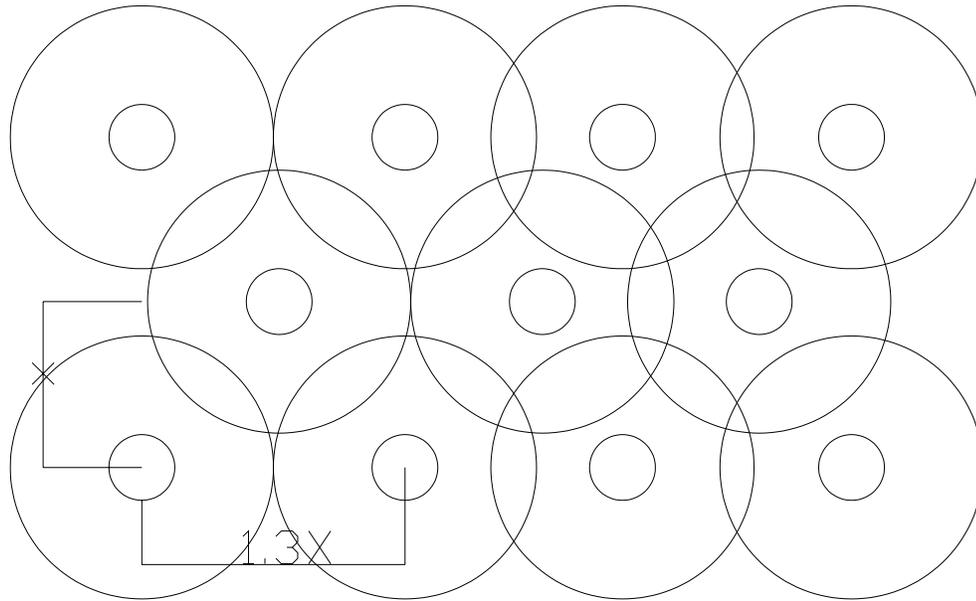
**Figura 2 Arreglo de Plantilla Rectangular**

La plantilla en tresbolillo puede tener la misma distancia de bordo y espaciamiento, pero es común encontrar que el espaciamiento es mayor que el bordo, y un rango confiable = 1.3 a 1.5 veces el bordo(**figura 3**)



**Figura 3 Arreglo de la Plantilla en Tresbolillo**

Este tipo de plantilla produce una mejor distribución del círculo de fracturas, por lo tanto mayor fragmentación en la rezaga utilizando un mismo factor de carga. Teóricamente el punto óptimo se obtiene cuando los barrenos forman un triángulo equilátero.



**Figura 4 Patrón de Barrenación en Tresbolillo**

En el patrón de barrenación en tresbolillo se aprecia una cobertura más homogénea de la influencia del explosivo (**figura 4**)

Este tipo de plantilla produce una mejor distribución del círculo de fracturas, por lo tanto mayor fragmentación en la rezaga utilizando un mismo factor de carga. Teóricamente el punto óptimo se obtiene cuando los barrenos forman un triángulo equilátero. En el siguiente esquema se puede ver todos los aspectos que intervienen en una voladura.

Algo que casi no se toma en cuenta en la práctica es la sub-barrenación y que esta se puede calcular de una manera relativamente sencilla con la siguiente formula:

$$SB = .10 (B) \text{ Ecuación 5}$$

En donde;

SB= sub-barrenación

B= longitud del barreno en m

Al aumentar las dimensiones del barreno, nos ayudara en la voladura ya que con esto se puede llegar a tener un buen piso para el desalojo del material y con esto, nuestro equipo se dañara menos ya que el terreno por el cual circula tendrá pocas patas (son los bordos que quedan) y al nosotros mantener el terreno en perfectas condiciones cuidamos nuestra vida útil del equipo y reducimos costos ya que emplearemos menos material explosivo.

La utilización de retardos entre línea o entre barrenos, brindan la oportunidad de provocar ese desahogo necesario para que la roca nos presente dos ventajas, la primera una reducción de la roca en vuelo y la segunda un control de la roca al rezagar, ya que con una adecuada distribución de estos tiempos se puede dirigir la voladura de tal manera que puede quedar apilada hacia el frente de la voladura o en todo el ancho del mismo.

Lo que se cuida en una voladura es tratar de que esta no se empalme y esto se logra utilizando de manera correcta los retardos. El empleo de retardos MS (retardos de superficie) en las voladuras del P.H. El Cajón es importante y de el depende el éxito de una voladura.

Los explosivos utilizados en el P. H. El Cajón son proporcionados por la compañía Dyno Nobel, esta compañía también se encarga del traslado del explosivo del lugar de almacenaje (polvorín) ala voladura.

Las siguientes tablas; en donde se indica el color, número y tiempo de los retardos (MS)

TIEMPO DE RETARDO		
Serie Milisegundo MS		
Retardo	Tiempo Milisegundo	Color de etiqueta
1	25	Rojo
2	50	Café
3	75	Verde
4	100	Azul
5	125	Rojo
6	150	Violeta
7	175	Gris
8	200	Azul
9	250	Rojo
10	300	Café
11	350	Verde
12	400	Azul
13	450	Rojo
14	500	Violeta
15	600	Gris

**Tabla I.III.I Tiempo de retardo**

Y la tabla de los conectores

Serie Conectores MS	
Retardo	Color del Block
17 milisegundos	Amarillo
25 milisegundos	Rojo
35 milisegundos	Negro
42 milisegundos	Blanco
50 milisegundos	Amarillo
65 milisegundos	Blanco
100 milisegundos	Negro

**Tabla I.III.I Serie de conectores MS**

El cordón detonante

Tipo	Diametro mm	Nucleo Gr/m	Gran/piela	Resistencia a Tensión kg
DetaCord	3.9	3.6	18	60
E-Cord	4.1	5.3	2.5	6
Reforzado	4.7	10.6	50	70
DeltaCord3P	3.2	3.6	18	80
DetaCord5P	3.6	5.3	25	80
CD 200	7.6	39.4	185	80

**Tabla I.III.III Cordón detonante primacord**

**Factor de carga**

Se define como la cantidad de explosivo utilizado para fragmentar un metro cúbico de roca y se expresa en  $\text{gr/m}^3$ .

El factor de carga a utilizar varía de acuerdo al tipo de roca, pero aun en casos en los que se explota un mismo tipo de roca este factor puede cambiar, dependiendo del intemperismo, la geología del yacimiento o la capacidad del equipo de acarreo y trituración con el que se cuente. Existen tablas que nos permiten obtener el factor de carga para cada tipo de roca. (**Tabla I.III.IV**).

El factor de carga utilizado en las voladuras que se inspeccionaron es:

**F.C.=0.30  $\text{kg/m}^3$**

TIPO DE ROCAS	FACTOR DE CARGA kg/m
<b>VOLCANICAS</b>	
Riolita-dacita	.530-.715
Granodioria	.590-.80
Andesita	.53-.715
Diorita	.530-.770
Basalto	.590-.77
Gabro,dolerita	.530-.715
<b>METAMORFICAS</b>	
Marmol	.475-.77
Hornfles	.475-.715
Taconita	.475-.770
Gneiss	.475-.715
Pizarra	.29-.475
Esquisito	.35-.6
<b>SEDIMENTARIAS</b>	
Conglomerado	.35-.66
Brecha	.35-.6
Arenisca	.475-.77
Caliza	.23-.475
Dolomita	0.29-.475

**Tabla I.III.V Factores de carga recomendados para diferentes rocas**

NOTA: los factores de carga están expresados en términos generales; por lo que sólo proporcionan una idea aproximada a la energía requerida por tipo de roca. Esto se debe a que cada banco tiene una geología particular, altura de banco, diámetro de barrenación, etc. Es importante mencionar que el factor de carga también esta en función del tamaño de la fragmentación deseada.

## Iniciadores no eléctricos

Los iniciadores con retardo tipo LP (periodos largos) se utilizan como medio de iniciación de explosivos dentro de los barrenos, por lo general, en donde hay una cara libre como: túneles; tiros; rampas, contrapozos, etc.

Los iniciadores con retardo tipo MS (milisegundos) (**Tabla I.III.I**) se aplica como medio de iniciación de explosivos dentro del barreno, generalmente donde hay dos o más cara libre tal como: rebajes, bancos, construcción y minería a cielo abierto. Los iniciadores con retardo EZDET fueron desarrollados para varias aplicaciones, sea en minería a cielo abierto, subterránea, construcción, canteras o pedreras. Es especialmente apropiado para operaciones cercanas a zonas habitacionales ya que permite un control mejor del ruido y las vibraciones ocasionadas por las voladuras. Ideal para operaciones en donde se requiere una rápida y sencilla conexión y el disparo de un número ilimitado de barrenos con iniciación independiente.

Los iniciadores con retardo Conectores MS son bi-direccionales y por ello pueden usarse en donde más de una ruta de iniciación es requerida, tal como en voladuras de múltiples filas.

El conector con el retardo apropiado se inserta en el lugar deseado cortando el cordón detonante (**Tabla I.III.II**), procediendo a realizar las conexiones correctas. Las condiciones que muestro a continuación son las bases de diseño en todas las plantillas diseñadas en el proyecto hidroeléctrico el Cajón.

Además se menciona los explosivos utilizados en este proyecto Según el contrato establecido para esta obra el encargado de llevar el control de las voladuras es el proveedor de los materiales explosivos en este caso la firma encargada de esto es DYNO que es la empresa que provee un lugar de trabajo seguro y saludable.

En realidad se estandariza la utilización de los explosivos es decir; solo se utiliza barrenos de 3” de diámetro y la profundidad de barrenos es de 10m a 11m y el alto explosivo utilizado es el Emulsión **DYNO 42 2x16 (950 gramos c/pza)** (**Tabla I.III.V**), en tanto el agente explosivo es **ANFODYNO saco con 25 kg.** (**Tabla I.III.VI**). La compañía que los suministra es DYNO

En el P.H. el Cajón se tiene las siguientes características en cuanto a material se refiere. La roca se clasifica como una ignimbrita, esta roca tiene un peso específico promedio de:

**2600 kg/m<sup>3</sup>**

Este dato es importante ya que es necesario para diseñar la plantilla de la voladura.

La roca que predomina en un 95% es la antes mencionada, la cual esta intrusionada por diques-falla de composición dolerítica, que por lo general se presentan sumamente enérgicamente alterados a productos arcillosos.

El alcance de este proyecto es el pronosticar la posible afectación de estructuras definitivas, dar recomendaciones para el cargado de los barrenos y especificar las cargas máximas por tiempo en cada barreno.

En el P.H. El Cajón se trata es de prever daños por voladuras, en las siguientes estructuras, **MURO ALABEADO, PLINTO, LA CASA DE MAQUINAS Y VERTEDOR (Plano “ARREGLO GENERAL”)**, por lo tanto requieren un estricto control del posible impacto por vibraciones, esto por la aplicación de concretos y morteros.

las características de los productos proporcionados por DYNO emulsión 42

EMULSION DYNO 42			
Diametro en pulgadas	Peso por cartucho en gr.	Densidad gr/cc	# Cartuchos por caja
<b>2x16"</b>	<b>1000</b>	<b>1.4</b>	<b>25</b>
3x8"	1080	1.4	23

**Tabla I.III.V Emulsión Dyno 42.**

Se considera que el peso de los cartuchos varía +/-10%, siendo el peso final 25 kg por caja.

ANFO DYNO		Densidad gr/cc	# Cartuchos por caja
<b>ANFODYNO</b>	<b>SACO DE 25 KG</b>	<b>0.83</b>	<b>No aplica</b>
ANFOYNO BD	SACO DE 25 KG	0.7	No aplica

**Tabla I.III.VI Anfo Dyno.**

Por lo que se entra a la siguiente tabla y se obtiene el valor de la densidad

DIAMETRO DE BARRENACION	Densidades									
	Pulgadas	Milímetros	0.5	0.8	0.85	0.9	1	1.1	1.14	1.18
1	25.4	0.26	0.41	0.43	0.46	0.51	0.56	0.58	0.6	
3	76.2	2.28	3.64	3.87	4.1	4.55	5.01	5.19	5.37	
4	101.6	4.06	6.49	6.89	7.3	8.11	8.92	9.25	9.57	

**Tabla I.III.VII Diámetro de Barrenación.**

Nota: Los valores anteriores están redondeados a dos decimales después del punto y la columna con la densidad (1) delimita a los ANFOS de la EMULSION

Un ejemplo para calculo de una plantilla tipo

Si suponemos que tenemos una plantilla cuadrada (**figura 1**), se tienen los siguientes datos:

$$X = 3 \text{ m}$$

$$D = 3''$$

$$L = 10 \text{ m}$$

Son solo 9 barrenos

Donde;

X= distancia entre barrenos, D= Diámetro de barrenos y L= Longitud de barrenación.

Entonces;

$$V = 3 \times 3 \times 10 = 90 \text{ m}^3$$

De la (**Tabla I.III.IV**) se obtiene el factor de carga

$$F.C. = 0.3$$

Entonces;

(F.C.) X (V) =  $0.3 \times 90 = 27$  kg. de explosivo, el paso siguiente es la proporción;  
Se toma una relación 90% y 10 %

$$\text{Multiplico } (27 \text{ kg/ml}) \times (.9) = 24.3 \text{ kg de ANFO}$$

$$\text{Multiplico } (27 \text{ kg/ml}) \times (.1) = 2.7 \text{ kg de Emulsión}$$

Con la (**Tabla I.III.VII**) y se obtiene la densidad del ANFO y Emulsión;

$$\text{ANFO} = 3.87 \text{ kg/ml}$$

$$\text{Emulsión} = 5.37 \text{ kg/ml}$$

Es importante mencionar que la relación se determina en base a la práctica y que esta cambia según las características del material y el tamaño de roca que se quiere obtener.

## **I. IV ALMACENAMIENTO Y NORMATIVIDAD EN EL USO DE EXPLOSIVOS**

### **I. IV.I ALMACENAMIENTO DE EXPLOSIVOS**

Las condiciones de almacenamiento de los explosivos tienen una relación con la seguridad en su uso mucho más profunda de lo que se piensa. Un almacenamiento inadecuado de los explosivos, de las mechas y de los demás artificios puede conducir a fallas tales como barrenos sin detonar y a explosivos en la rezaga. El manejo de barrenos quedados y la existencia de barrenos sin detectar, constituyen una de las fuentes principales de accidentes con los explosivos. Por lo tanto, las medidas que se tomen para evitar barrenos quedados son fundamentales para la seguridad del trabajador.

Una ventilación inadecuada en los polvorines puede coincidir, de modo indirecto, a accidentes, a menos que el aire circule libremente por todo el polvorín. Las variaciones extremas de temperatura pueden generar una rápida descomposición y deterioro de los explosivos y materiales y accesorios.

Para controlar un poco los factores ambientales es recomendable proporcionar la ventilación adecuada y pintar el exterior con colores blanco o gris y el techo con material reflejante.

Existen varios tipos de polvorines de los cuales menciono los siguientes:

Tipo 1.- Es un edificio permanente para materiales sensibles al disparo de una bala, que pueden detonar en masa. Es a prueba de balas y robo. Además es resistente a las condiciones climatológicas.

Tipo 2.- Es un polvorín portátil o móvil usado interior o exterior para almacenar materiales explosivos sensibles al disparo de una bala, que puedan detonar en masa. Esta construido de la misma forma que el tipo 1, con la excepción de que el polvorín interno no requiere ser resistente a balas.

Tipo 3- Es un polvorín portátil para almacenar explosivos que estén siendo manejados, tales como las cajas de carga a los sitios de voladura. Es a prueba de balas, resistente al fuego, al robo y a las condiciones climatológicas.

Tipo 4.- Es un polvorín portátil para almacenar materiales explosivos no sensibles al impacto de bala y que no detonarán en forma masiva. Es resistente al fuego, al robo y a las condiciones climatológicas.

Tipo 5.- Es un polvorín portátil para almacenar materiales explosivos que no son sensibles al disparo de una bala, es aprueba de robo y resistente a las condiciones climatológicas. Este tipo puede ser un edificio, un tanque, camiones o tolvas utilizadas para almacenar altos explosivos y agentes explosivos.

## **Localización de un polvorín.**

Al seleccionar la localización de un polvorín se debe considerar la seguridad pública, la del acceso al sitio de trabajo o de las áreas donde va a utilizarse el explosivo

La tabla de distancia cantidad contenida en la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos (**Anexo 1**), especifica las distancias mínimas de acuerdo a los volúmenes de almacenamiento con respecto a diferentes estructuras como son: edificios habitados, carreteras, vías de ferrocarril, polvorines, y líneas eléctricas, etc.

La capacidad total de explosivos que pudiera resguardarse en cada uno de los polvorines se determina de acuerdo a sus dimensiones interiores y exteriores. A estas últimas deben descontar los pasillos de tránsito y las capacidades se indican en kilogramos.

Los productos del mismo tipo y clase deberán almacenarse juntos, de tal manera que sea fácil identificarlos. Esto simplifica el conteo y la revisión de la antigüedad de los productos que se tengan almacenados.

Si requiere iluminación artificial, utilice exclusivamente una línea de seguridad. Nunca deberá entrar el polvorín con cerillos, encendedores o cualquier otra fuente de ignición. El interior del polvorín deberá mantenerse limpio, así como el área que lo rodea. La cual deberá estar libre de hojas, pasto, maleza seca, basura o cualquier tipo de desperdicio, esto para prevenir accidentes.

Se debe dar mantenimiento regular a los polvorines, con el fin de evitar goteras y daños en las paredes o muros. Se debe mantener el calor de las paredes y puertas. Nunca se deberá permitir a personas no autorizadas el acceso o cercanía al polvorín. La puerta del polvorín deberá permanecer cerrada siempre, excepto cuando se realicen movimientos de materiales.

En el polvorín de explosivos sólo se almacenarán altos explosivos, agentes explosivos y cordones detonantes (estas especificaciones vienen especificadas en el permiso general que extiende La Secretaria de la Defensa Nacional, así como en la tabla de compatibilidad contenida en la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos).

En el polvorín de artificios debe almacenarse únicamente accesorios de voladuras tales como: fulminantes, estopines eléctricos. Mechas de seguridad y demás accesorios de iniciación. No deberá almacenarse herramientas o implementos metálicos que pudieran producir chispas. Los polvorines de accesorios de mínimas direcciones

## **1. IV.II NORMATIVIDAD**

### **LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS**

La Ley Federal de Armas y Explosivos (Ley) fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de enero de 1972. las disposiciones de esta Ley se consideran de interés público.

La aplicación de la ley corresponde a:

El presidente de la República;  
La Secretaria de gobernación;  
La Secretaria de la Defensa Nacional y  
A las demás autoridades Federales en los casos de su competencia.

La ley consigna que las autoridades de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios tendrán la intervención que la ley y su reglamento señalen.

El control y vigilancia de las actividades y operaciones industriales y comerciales que se realicen con explosivos, artificios y sustancias químicas, será hecho por la Secretaria de la Defensa Nacional.

Por lo que se refiere a los explosivos, la ley establece tres tipos de permisos a saber:

Permisos generales;  
Permisos ordinarios;  
Permisos extraordinarios

Los tres tipos de permisos que señala la Ley son de naturaleza intransferible. La secretaria de la Defensa Nacional tiene la facultad discrecional de negar, suspender o cancelar los permisos mencionados, cuando a su juicio las actividades amparadas en los permisos puedan causar peligro a las personas, a las instalaciones o alterar la tranquilidad de la población.

Los Permisos Generales se conocerán a personas que se dediquen de manera permanente a las actividades reguladas por la ley, tendrán vigencia durante el año en que se expidan y podrán ser revalidados a juicio de la Secretaria de la Defensa Nacional.

Los Permisos Ordinarios se otorgarán en cada caso para realizar operaciones mercantiles con personas que tengan permiso general vigente o que o con comerciales de otros países.

Los Permisos Extraordinarios se otorgarán a personas que eventualmente se dediquen a alguna de las actividades reguladas por la ley.

Las sociedades que pretendan dedicarse a la fabricación y comercialización de explosivos, podrán permitir en su capital una participación de hasta el 49% de inversión extranjera, en los términos que establece la Ley de Inversión Extranjera.

Este porcentaje de inversión extranjera no inversión no incluye a las sociedades que adquieren y utilicen explosivos para actividades industriales y extractivas.

La Secretaria de la Defensa Nacional, tiene la facultad de practicar visitas de inspección a las negociaciones que se dediquen a las actividades reguladas por la Ley y a solicitar los informes necesarios respecto de estas actividades.

Si usted requiere el uso de explosivos para romper roca en cualquier de sus obras, será necesario la obtención del permiso correspondiente de acuerdo a los requerimientos de la Dirección de Armas de Fuego y Explosivos de la Secretaria de la Defensa Nacional

Los polvorines deberán ser colocados de acuerdo en la tabla de seguridad y distancia cantidad que viene en le reglamento de Armas de Fuego y Explosivos de la Secretaria de la Defensa Nacional la cual puede observarse en el **(Anexo 1)**

## **LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS**

### **TEXTO VIGENTE**

(Ultima Reforma aplicada 24/12/1998)

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1972

LEY Federal de Armas de Fuego y Explosivos.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-  
Presidencia de la República.

LUIS ECHEVERRIA ALVAREZ, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

### **DECRETO**

El Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, decreta:

## **LEY FEDERAL DE ARMAS DE FUEGO Y EXPLOSIVOS**

**Para la Compra Almacenamiento y Consumo de Material Explosivo, en la Industria de la Construcción**

**Tiempo de resolución 37 días, si la documentación esta completa y correcta**

Solicitud de permiso general, conforme a modelo oficial.

Copia certificada del acta de nacimiento (personas físicas) o copia certificada del acta constitutiva (personas morales).

Copia certificada del acta de nacimiento y poder notarial del representante legal (personas morales).

Opinión favorable del Gobernador del Estado, firmada por el titular.

Certificado de seguridad del lugar de consumo, conforme a modelo oficial.

Referencias del lugar de consumo, conforme a modelo oficial.

Planos señalados en los numerales 1 y 2 del artículo 46 del Reglamento de la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos.

Plano de conjunto a 1,000 mts. Alrededor del lugar donde se consumirán los explosivos a escala 1:4000 en el que figuren en su caso, instalaciones militares, vías de comunicación, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas, obras de arte, zonas arqueológicas, gasoductos, oleoductos, construcciones para casas-habitación, instalaciones industriales y principales accidentes topográficos.

Plano detallado del proyecto de construcción de sus polvorines (almacenes) a escala adecuada para su localización, con especificaciones.

Referencias, certificado de seguridad y planos de los polvorines.

Relación con los nombres de las personas (pobladores, barreteros, etc.) que realizarán el manejo de material explosivo y de la persona que será el responsable del manejo de los explosivos directamente en el lugar de consumo.

El costo por este servicio deberá consultarlo en la Ley Federal de Derechos en vigor.

Informe sobre el tiempo que durarán sus actividades con material explosivo.

**Anexo1**

	Distancia en metros			POLVORINES CON PROTECCION			
Descripción del material	kilos de	a	edificios habitados	Vías ferreas	Caminos carreteras	Lineas de alta tension	Entre polvorines
1. Dinamina, explosivos al nitrato de amonio	0	500	126	100	100	100	11
	500	750	146	100	100	100	13
	750	1000	160	100	100	100	14
	1000	1250	170	100	100	100	15
	1250	1500	180	100	100	100	17
	1500	2000	200	100	100	100	18
	2000	3000	230	100	100	100	20
	3000	4000	250	100	100	100	23
	4000	5000	260	100	100	100	25
	5000	6000	270	117	100	100	26
	6000	7000	275	122	100	100	27
2. artificios (fulminantes, estopines, conectores MS, cordones detonantes.)	7000	8000	285	127	100	100	28
	8000	9000	295	132	100	100	30
	9000	10000	305	137	100	100	31
	10000	12000	330	148	100	100	33
	12000	14000	350	154	105	103	35
	14000	16000	370	160	110	105	36
	16000	18000	390	168	116	112	38
	18000	20000	405	173	121	118	39
	20000	25000	445	185	135	130	43
	25000	30000	480	200	145	140	46

## Capítulo II Generalidades del “Proyecto Hidrológico el Cajón”

### II.I INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

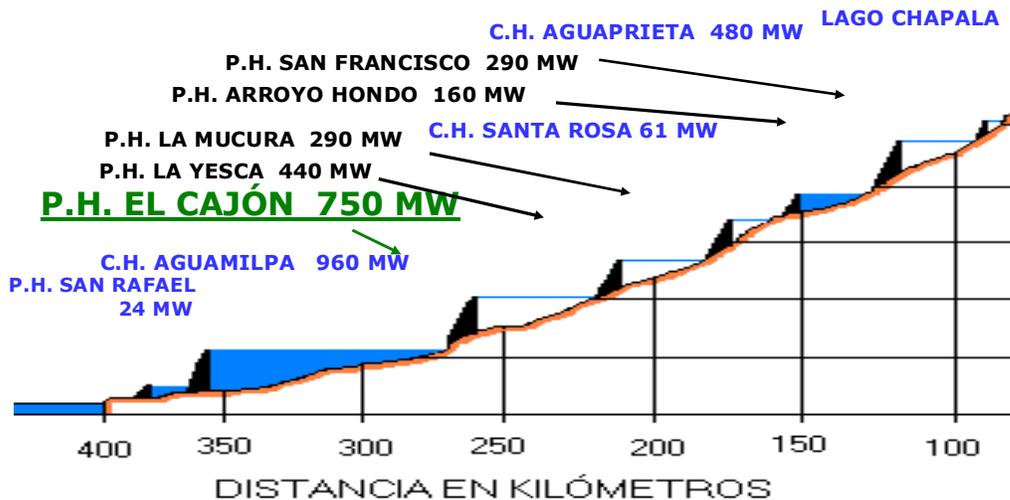
#### Antecedentes

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón forma parte de un plan global de aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago, ocupará el segundo lugar dentro del potencial del sistema, después de la central Aguamilpa y el noveno lugar en el ámbito nacional.

Su finalidad principal es la producción de energía eléctrica, en operación conjunta con las otras plantas previstas y construidas a lo largo del río y con factores de planta bajos para atender picos de consumo.

### P.H. EL CAJÓN

#### Sistema Hidroeléctrico del Río Santiago



## **ASPECTOS A DESARROLLAR EN LA OBRA**

Una cortina de materiales graduados y cara de concreto de 186 m de altura; (la segunda en el mundo en su tipo, después de Agua milpa).

La obra de desvío mediante dos túneles de sección portal y dos ataguías (la mayor de 65 metros de altura máxima);

Vertedor de excedencias controlado;

Casa de máquinas subterránea, con dos grupos turbogeneradores (750 MW).

Desarrollar el camino de acceso de 43 Km. de longitud y dos líneas de un circuito de 400 kv, con longitud total aproximada de 25 km.

Realizar: obras de desarrollo social y protección ambiental.

Alcance del proyecto: ingeniería complementaria; construcción de obras civiles; suministro e instalación de equipos y sistemas electromecánicos; suministro de repuestos y herramientas especiales; montaje, pruebas y puesta en servicio; fletes, seguros, manejo aduanal y capacitación.

La supervisión se hará por medio de un sistema de calidad.

Monto de inversión: 810 millones de dólares (mdd).

Localización: Estado de Nayarit.

Es parte del Sistema Hidrológico Santiago.

Constructores: Promotora e Inversora Adisa, ICA, Energomachexport Power Machines y la Peninsular Compañía Constructora.

Esquema de contratación: Obra financiada con un contrato mixto de precio alzado y unitarios.<sup>o</sup>

Importancia: Segundo en potencia de generación del país.

Capacidad de generación instalada: 750 MW.

Generación de empleos: 5,000 directos y 5,000 indirectos.

Financiamiento: Línea de crédito de 748 mdd firmada por CIISA con Wester LB AG.

Conclusión del proyecto: Agosto de 2007.

El aprovechamiento hidroeléctrico considera una Central equipada con dos grupos turbogeneradores los cuales permitirán una generación media anual total de 1 228,637 GWh. El embalse contribuirá a regular los escurrimientos de cuenca propia y beneficiará a la central AguaMilpa, ya que al recibir su vaso las aportaciones reguladas del río incrementará su generación firme en 69,912 GWh y se reducirán las probabilidades de derrama por el vertedor. Por lo tanto la generación media anual total será de 1 298,549 GWh.

### Fotos Maqueta

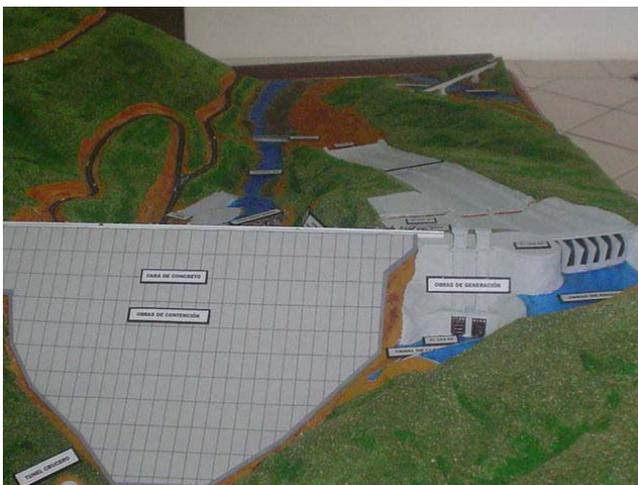


#### Foto 1

P.H. El Cajón.

Proyecto escala 1:1400

Vista de aguas abajo, se puede ver el vertedor, cortina, ataguía, y portal de salida.



#### Foto 2

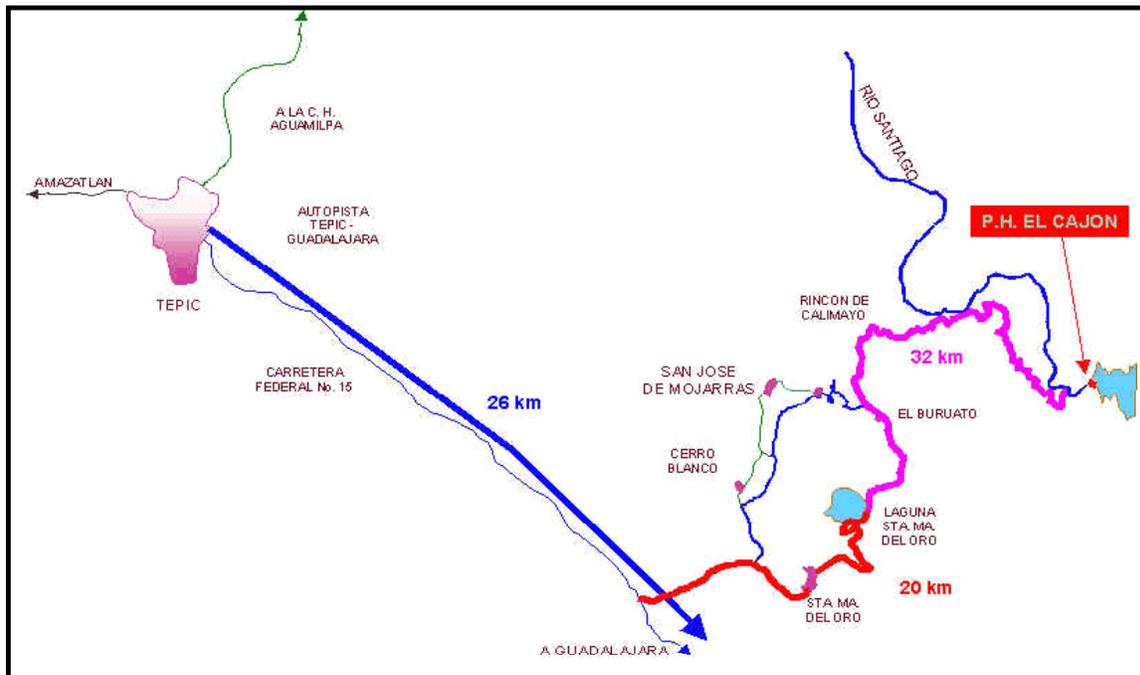
P.H. El Cajón.

Proyecto escala 1:1400

Vista de aguas arriba, se aprecia cortina, Obra de generación, compuertas y Obra de Excedencias.

## II.II Localización

El sitio previsto para la construcción de las obras del proyecto se encuentra en el estado de Nayarit, al oriente de la ciudad de Tepic, en los municipios de La Yesca y Santa María del Oro, en terrenos comunales del poblado Cantiles, sobre el río Santiago a 60 Km. aguas arriba de la C.H. Aguamilpa, sus coordenadas geográficas son 21° 25' 41" de latitud norte y 104° 27' 14" de longitud oeste



### **II.III Datos principales**

#### 2.3.1 Vías de comunicación

El acceso actual al sitio de las obras a partir de la ciudad de Tepic, se logra mediante un recorrido total de 78 Km. éste inicia por la carretera federal No. 15 o por la autopista Tepic-Guadalajara, con un desarrollo de 26 Km. hasta el entronque “La Lobera”, donde se toma la desviación por la carretera estatal al poblado y Laguna de Santa María del Oro con un desarrollo de 20 km.

#### Hidroclimatología

De los planos generales que forman parte de estas proyecto, se incluye “Información hidroclimatológica”, de él se obtuvieron los siguientes datos:

Temperatura media mensual máxima de 32°C en el mes de mayo y mínima de 23,2°C en el mes de enero.

Evaporación media mensual máxima de 317,8 mm en mayo y mínima de 129 mm en diciembre.

Precipitación media mensual máxima de 234,6 mm en julio y mínima de 10,7 mm en diciembre.

Escurrimiento medio mensual máximo de 918,8 millones de m<sup>3</sup> en el mes de agosto y mínimo de 83 millones de m<sup>3</sup> en febrero.

En la zona de las obras, la temporada de lluvias se presenta muy marcada entre los meses de junio a octubre y el estiaje entre los meses de noviembre a mayo. Durante el invierno se presentan lluvias en un porcentaje ligeramente mayor al 5% de la media anual.

## **Geología**

La boquilla del P.H. El Cajón está enmarcada geológicamente por unidades de diversa litología y edad, desde rocas metamórficas del Precenozoico e ígneas del Oligoceno al Cuaternario. Existen rocas metavulcanosedimentarias, granitos, andesitas, flujos y emisiones piro clásticas ácidas, derrames basálticos, diques de composición granítica, andesítica y diabasita; depósitos Vulcano sedimentarios, aluviones de paleo cauce, depósitos pumicíticos, lacustre, de talud y de aluvión reciente.

Desde el punto de vista geológico estructural, el macizo rocoso del proyecto se encuentra intrusionado, basculado y claramente delimitado por fallamiento regional, que permitió la definición de bloques y sub.-bloques. De acuerdo con los estudios realizados, las obras se emplazarán principalmente en roca Ignimbrita de composición riodacítica, la cual se diferenció en 3 unidades denominadas TicU1, TicU2 y TicU3, entre estas unidades aparecen dos horizontes aglomeráticos, uno de 5 m de espesor y otro de 22 a 25 m de espesor.

En el macizo rocoso del sitio donde se ubican las obras y en especial en la margen izquierda, se presenta un gran numero de fallas geológicas y espesores superficiales de roca descomprimida con valores RQD de 0 a 50 % hasta 50 m de profundidad. Esta situación va a implicar en las obras a cielo abierto importantes excavaciones y tratamientos a la roca para desplantar estructuras. Para la construcción de las obras subterráneas en ambas márgenes, también se prevén intensos tratamientos a la roca

**Tabla de datos**

□ Vaso de almacenamiento			
Nivel de diseño (corresponde a la carga de diseño de la turbina)		380,07	m
Elevación al NAMINO		346,00	m
Elevación al NAMO		391,00	m
Elevación al NAME		394,00	m
Capacidad para azolve (Elev. 319,50 m)		482,4*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Capacidad útil para generación (NAMO - NAMINO)		1 316,2*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Capacidad de control de avenidas (NAME - NAMO)		117,5*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Área al NAME		3 9,82*10 <sup>6</sup>	m <sup>2</sup>
Área al NAMO		3 8,52*10 <sup>6</sup>	m <sup>2</sup>
Área al NAMINO		2 0,87*10 <sup>6</sup>	m <sup>2</sup>
Cortina			
Tipo	Enrocamiento con cara de concreto(CFRD)		
Elevación de la corona		394,5	m
Elevación máxima del parapeto		396,00	m
Elevación máxima de terracerías		393,00	m
Longitud de la corona		550,0	m
Altura total al desplante		186,0	m
Volumen total de terracerías		10 299 696	m <sup>3</sup>
Elevación de desplante		210,00	m
Talud aguas arriba		1,4:1	
Talud aguas abajo		1,4:1	
Altura bordo libre		2,00	m

**NOTA GENERAL:**

Todas las elevaciones indicadas en m en esta sección se les deberá adicionar 1,0436 m para referenciarlas realmente al nivel medio del mar.

## **CAPITULO III ALTERNATIVAS DE USO DE EPLOSIVOS**

### **III.I Efectos y controles de vibración y ruido en voladuras a cielo abierto**

El conocimiento del origen de las vibraciones y ruido por explosivos, así como el efecto nocivo que causan estos fenómenos físicos en la estabilidad de las formaciones rocosas y estructuras convencionales (casas, edificios, etc.) nos han llevado a establecer las bases y criterios de control y mitigación de los mismos. Dado el incremento del uso de explosivos en diversas operaciones superficiales (minas, canteras, obras de construcción, etc.), es importante aplicar la metodología sobre los criterios de daños para establecer los parámetros de diseño que un técnico debe considerar antes de realizar una voladura para optimizar los resultados; minimizar los efectos de vibración y ruido.

Hoy en día muchos países como México, tienen diversos problemas asociados con el uso de explosivos. En especial en este proyecto hidroeléctrico del Cajón se lleva un importante control de estos.

Los efectos principales que se originan las voladuras son:

- a) Vibración del suelo
- b) Golpe de aire

Para minimizar estos efectos, es necesario saber cómo se generan y propagan las vibraciones y el golpe de ariete. Se analizo según la metodología de su estudio, conocer los criterios de daños aplicables a la estabilidad de taludes y estructuras convencionales de construcción y los parámetros de diseño que debe considerar un técnico de voladuras para controlar estos efectos.

Con estas opciones se tiene una cobertura de diferentes casos que se presentan a lo largo del proyecto, entre obras exteriores y obras subterráneas.

La definición específica de los sitios donde se colocó para el equipo para el registro fue determinada en cada oportunidad en función del sitio de la voladura, de la protección y al equipo tomando en cuenta la propia topografía y operando en consenso con el personal de seguridad.

En cada registro se tomo la siguiente información:

- A) Fecha
- B) Sitio de la voladura
- C) Sitio del registro
- D) Distancia entre ambos sitios indicados en los incisos b y c
- E) Velocidad de la partícula máxima y frecuencia por cada componente y en integración vectorial
- F) Aceleración máxima
- G) Presión de la onda de aire

El monitoreo de las voladuras se ha llevado a cabo tomando en cuenta el procedimiento presentado por Dowding para la ISRM (Dowding, 1992)

El equipo utilizado para el monitoreo es el llamado minimote Plus, de la firma Instantel.

Según el contrato establecido para esta obra el encargado de llevar el control de las voladuras es el proveedor de los materiales explosivos en este caso la firma encargada de esto es DYNO que es la empresa que provee un lugar de trabajo seguro y saludable:

- Cumplirá con todas las leyes aplicables, regulación y pautas corporativas relacionadas con la salud, el ambiente, la calidad y la seguridad.
- Proveerá los recursos necesarios y sistemas efectivos, programas y gestión para lograr el cumplimiento de objetivos específicos.
- Evaluara el impacto sobre seguridad, salud, ambiente y calidad a desarrollar nuevos productos.
- Facilitara el reclutamiento del material, minimizara los desechos, conservado la energía y prevendrá la contaminación.
- Prevendrá accidentes y lesiones a través de análisis sistemáticos de riesgos, capacitación y auditorias periódicas.

### Limites para prevenir afectación

Para cada uno de los efectos de una detonación, existen criterios de evaluación para determinar si es aceptable o no la voladura. En el caso de que para una voladura pueda haber más de una afectación se evalúa cada una por separado, se determina la cantidad de explosivo permitido y después de todas las evaluaciones rige la de menor carga.

A continuación se describen los criterios para cada caso.

### Afectaciones a construcciones

Se cuenta con experiencia de control de efectos en los proyectos P.H: Aguamilpa, Nayarit,; P.T. Topolobampo, Sin. Y P.H. Ampliación Temascal, Oaxaca de donde se han recabado los valores indicados en la siguiente tabla a la cual se le ha incluido la restricción sugerida por Olofsson:

	Velocidad de partícula mm/s	Velocidad de partícula mm/s	Velocidad de partícula mm/s	Velocidad de partícula mm/s
<b>Tiempo de fraguado Concreto hidráulico</b>	Olofsson	P.H. Aguamilpa, Nayarit. Nota CFE MR160/91	P.T. Topolobampo. Sinaloa Informe CFE 92-04-GR	P.H.A. Temascal Oaxaca CFE MR 076/94
0 a 2 horas	100	100	100	51
2 a 4 horas			12	
4 a 5 horas				0
5 a 8 horas	0			
8 a 10 horas		38		
10 a 12 h		75		
12 a 24 h				12
1 a 2 días	14			20
2 a 3 días	30			
3 a 7 días	40		51	30
7 a 28 días	60			40
> 28	85			51

Con base en lo anterior, se propone para el P.H. el Cajón, Nayarit. La siguiente restricción:

<b>Tiempo de fraguado</b>	<b>Velocidad de partícula (mm/s)</b>
0 a 4 horas	100
4 a 8 horas	0
8 a 12 horas	12
12 horas a 3 días	25
3 a 7 días	51
7 a 28 días	60
Más de 28 días	75

En el caso del concreto lanzado dado que su fraguado es acelerado, se propone simplemente restringir la vibración conforme a lo siguiente:

<b>Tiempo de fraguado</b>	<b>Velocidad de partícula máxima (mm/s)</b>
0 a 2 horas	0
2 a 24 horas	51
Más de 24 horas	75

Cabe señalar que algunos especifican el límite de 51 mm/s para evitar daños a estructuras, pero se refieren en general a zona residenciales, en donde los acabados son muy sensibles a las vibraciones y al no ser este el caso el aplicable al proyecto, se propone acotar a 75 mm/s la restricción.

### **Sobre presión**

Uno de los primeros efectos en los cuáles se manifiesta la sobre presión es en la rotura de ventanas, las cuales ocurren a partir de 170dB, o bien, normalmente si la voladura se restringe a una vibración de partícula de 70 mm/s se considera que no habrá afectación por onda de aire.

### **Sensibilidad humana**

Este efecto se produce por el ruido en si mismo y por las vibraciones. Para el primer caso, en zonas urbanas, se tiene identificado que las molestias se presentan a partir de 70 dB, pero dado que las voladuras son de duración relativamente instantánea, y el proyecto se ubica en zona alejada de viviendas o sitios de trabajo, además de que se moviliza al personal en las inmediaciones de la voladura, se considera que para el presente proyecto no aplica esta restricción. El segundo

caso, relativo a vibraciones, se acota a 5,1 mm/s, pero de igual manera, si no es de aplicación frecuente y de hecho se retira al personal de la inmediación de la voladura, se puede suprimir este efecto dentro de la determinación de la carga máxima por tiempo.

### **Movilización de la roca**

Olofsson establece que la distancia prevista para movilización de la masa detonada puede ser hasta de:

$$A = 145 (FC - 0,20)$$

Donde

A Distancia de movilización (m)

FC Factor de carga ( $\text{kg/m}^3$ )

En excavaciones as cielo abierto es práctica común que el factor de carga sea de 0,25 a 0,50; por lo que se anticipa que la movilización puede alcanzar hasta 45 m. En cuanto al lanzamiento de roca, el mismo autor establece que para barrenos de 75 mm de diámetro, con un factor de carga de 0,50 la distancia alcanzada por algún fragmento de roca puede llegar a ser hasta de 380 m.

### **Afectación de la roca**

Es práctica común acotar la velocidad de partícula como:

$$V_c = \sigma / \rho C$$

Donde

V<sub>c</sub> velocidad de partícula crítica  
σ Resistencia a la tensión (kPa)  
ρ Densidad  
C Velocidad de onda de corte (m/s)

Con base en la información geotécnica disponible para el P.H. El Cajón, Nayarit., se obtuvieron los siguientes valores:

$\sigma$	5750 kPa
$\rho$	2.3 (22.63 kN/m <sup>3</sup> )(9.81 m/s <sup>2</sup> )
C	Velocidad de onda de corte (m/s)

Con el mayor valor de la velocidad de onda de corte, se obtiene la velocidad crítica mínima que debe usarse como restricción para no causar daño a la roca. Al sustituir los valores en la ecuación resulta:

$$V_c = 0.61 \text{ m/s}$$

Este valor resulta muy alto, de hecho algunos indican que para evitar daño a la roca se debe restringir a la vibración de partícula a 250 mm/s. En el caso de túneles se sugiere que la velocidad de partícula (en mm/s) no exceda la décima parte de la velocidad de corte en m/s

Con base en lo anterior, considerando que los túneles se excavan como generalidad en roca con velocidad de onda de corte a los 2700 m/s, se encuentra adecuado restringir la velocidad de partícula a 250 mm/s para las excavaciones en general.

### **III.II PRONOSTICO DE EFECTOS**

Para el pronóstico de la velocidad de partícula, con las voladuras efectuadas se han graficado los puntos en un plano dado por la distancia escalada y la velocidad de partícula registrada. Ambas escalas se presentan en escala logarítmica. Con estos puntos se ha obtenido una envolvente superior que razonablemente permita inferir en lo sucesivo el efecto que provocará una voladura en función a la distancia que se efectúa y la cantidad de explosivo que se detona por tiempo. Se define entonces la distancia escalada como:

$$DE = D/W^\alpha$$

Donde:

- D distancia que existe entre la voladura y el sitio de registro
- W explosivo detonado en un cierto tiempo
- $\alpha$  Exponente, (Oriard,  $\alpha=50$ ; Hendron,  $\alpha=0,33$ ; Langerfors,  $\alpha=0,67$ )

Para la presentación de este trabajo se ha utilizado la ecuación de Oriard. Misma que se aplicó en la Termoeléctrica Toolobampo II (Yáñez, 1993) y en la Hidroeléctrica Ampliación Temascal, Oaxaca.

La velocidad de partícula es directamente proporcional al peso de la carga e inversamente proporcional a la distancia, por lo que es práctica común establecer el pronóstico a partir de una ecuación de tipo:

$$V = KDE^\beta$$

- V velocidad de partícula (m/s)
- K constante a determinarse con el registro de las primeras voladuras

Es importante mencionar que el alcance de este proyecto solo es para la margen derecha (**plano “OBRA DE EXCEDENCIAS”**), y su posible afectación a estructuras definitivas.

### **III.III ESTUDIO DE MONITOREO SÍSMICO REALIZADO EN EL PROYECTO “EL CAJÓN” Y SUS IMPLICACIONES EN LAS ESTRUCTURAS DEFINITIVAS – TEPIC-NAYARIT**

Como se ha mencionado solo se analizó la margen derecha del Proyecto Hidroeléctrico(plano “**OBRA DE EXCEDENCIAS**”), a partir de la información que se tiene archivada generada por los sismógrafos, además de la obtenida en campo, y con esto determinar la posible afectación de las estructuras definitivas ya mencionadas. Sin embargo en algunos casos la estructura se encuentra en alguna falla por lo que su fractura no corresponde a la utilización de explosivos.

Las estructuras geológicas identificadas superficialmente en el sitio de la obra de excedencias están representadas varios tipos principales de discontinuidades: fallas,

#### **Falla Lagarto.**

El desplazamiento entre los bloques que componen a la falla Lagarto es de tipo normal; la traza superficial de esta discontinuidad se localiza sobre el canal del vertedor, específicamente en la margen izquierda de esta obra, y su trayectoria es a partir del cadenamiento 0+0177,00 a 0+0600,00 m.

El área de cizallamiento de la falla Lagarto en general se ve enmascarada por los materiales que han sido acarreados por el arroyo. Los afloramientos donde es posible apreciar esta zona de cizalla tienen la presencia de un amplio espesor de brecha de falla, roca triturada y fracturamiento persistente que varía en cuanto a su longitud, pero orientado en la misma dirección de la falla principal (Fotografía ). La continuidad de esta estructura sugiere una longitud de 430 m aproximadamente.



Fotografía.- Se puede observar claramente que la zona de cizallamiento de la falla Lagarto es muy amplia y tiene un espesor importante de brecha de falla.

La falla Lagarto fue cortada por el barreno BTDA-1 a una profundidad que va de 84,50 a 97,00 m (elevación aproximada 260 msnm), y se asocia a roca muy fracturada de la unidad TicU3 de mala calidad, con un RQD que desciende considerablemente en este tramo de 0,00 a 4,92 %.

Las fallas hasta ahora descritas en este capítulo son las que tendrán mayor relevancia en el área propuesta donde se excavan los diferentes elementos civiles de la obra de Excedencias;

Se resumen las características principales de las fallas mencionadas en:

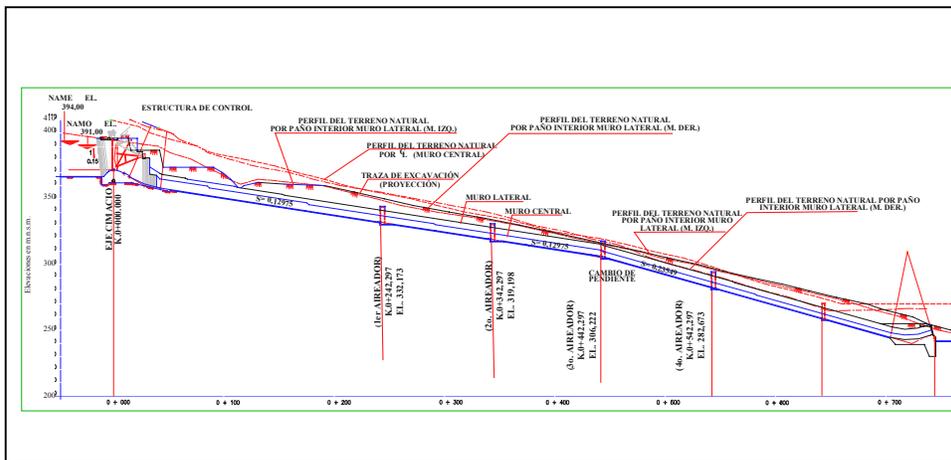
□ Falla	□ Rumbo	Espesor (m)	□ Relleno	Longitud (m)	□ Observaciones
FMD-8	N-S/74°W	Oct-20	Material cataclástico	>190	Afecta al canal de llamada, excedencias y generación.
FD-0	N82°W/77SW	4	Roca fracturada	50	Talud derecho canal de llamada excedencias.
FD-P	N55°W/67°NE	0,30-10	Material milonítico, alteración argílica	150	Talud derecho canal de llamada excedencias.
F-VIII	N17°W/68°NE	02-Oct	Arcilla y roca fracturada.	>200	Frente izquierdo canal de llamada.
FG-02	N06°W/76°SW	2	Material cataclástico y roca fracturada	150	Canal de llamada obra de excedencias.
FG-01	N-S/74°E	0,80	Material cataclástico	50	Piso y talud izquierdo canal de llamada.
FD-N	N-S/58°E	4	Roca fracturada.	70	Talud izquierdo y piso del canal de llamada.
Arroyo 2	N07°W/81°NE	0,70	Material cataclástico y alteración argílica.	>240	Piso y ambos taludes del canal de llamada.
Crucero	N45°E/42°SE	>15	Brecha de falla y arcilla.	>150	Piso del canal de llamada y zona de estructuras (cimacio).
FD-I	N20°E/66°NW	0,20-0,40	Roca fracturada.	60	Zona de estructura (cimacio).
FD-H	N20°W/60NE	0,30	Brecha de falla y roca fracturada.	120	Zona de estructuras (cimacio).
F-VI	N30°W/76°NE	4	Roca fracturada.	300	Inicio aguas abajo canal de descarga.
F-IV	N10°W/65-70°NE	15	Roca fracturada y dique diabásico	>350	Piso y ambos taludes del canal de descarga (vertedor).
Lagarto	N45°E/65-74°SE	>15	Brecha de falla y arcilla	>430	Canal de descarga obra de excedencias.

Fallas que afectan a la zona de obra de Excedencias

## CANAL DE LLAMADA.

Esta excavación corresponde con el inicio del canal vertedor y su longitud se aproxima a los 300 m; su amplitud varía de 35 m en la entrada, 148 m en la parte media y 90 m en salida. El piso se excava en la cota 367 msnm y en el lado derecho se realizarán 5 cortes de talud que alcanzarán aproximadamente la cota 490 msnm, mientras que en el izquierdo los cortes llegan a la cota 396 msnm.

Excavaciones a cielo abierto	4 840 802	m <sup>3</sup>
Incluye canal de llamada		
Concretos	156 786	m <sup>3</sup>
Concreto lanzado	6 380	m <sup>3</sup>
Compuertas radiales 12 x 20.70 m	6	
y un puente de maniobras		

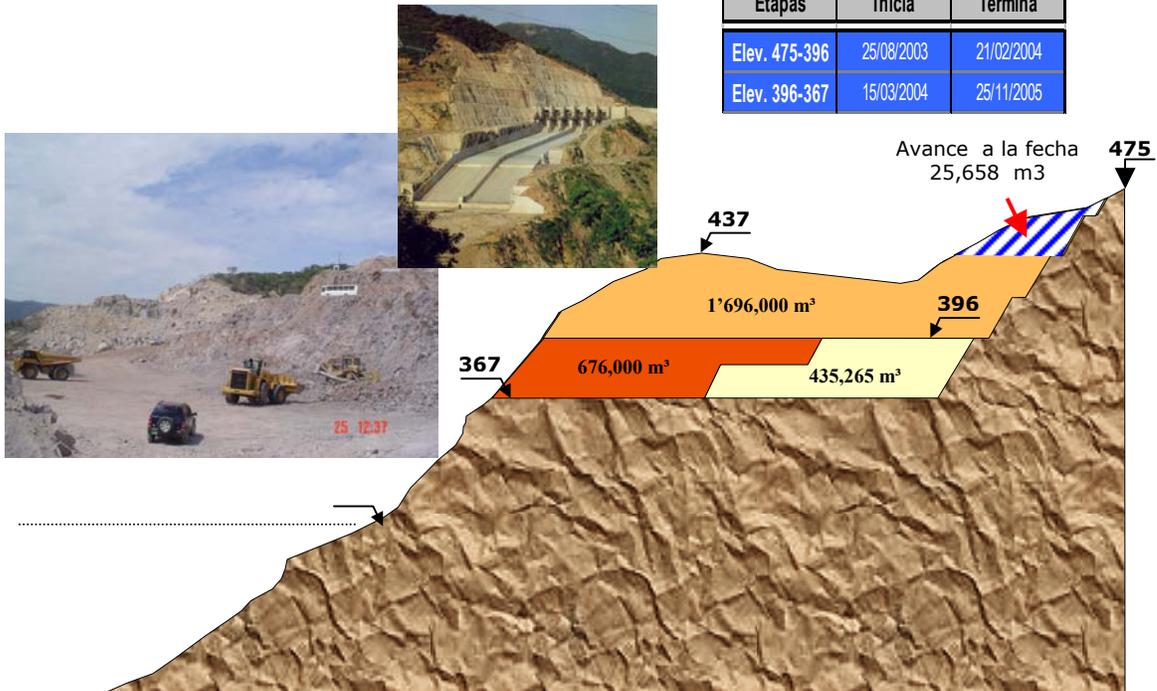


La Obra de excedencia, como su propio nombre indica, tiene la finalidad de desalojar el agua del río cuando el cauce de éste sobrepase la capacidad máxima de diseño de la cortina, es decir, la obra de excedencias es una obra destinada específicamente al control de avenidas para garantizar el gasto requerido y la seguridad de las estructuras.

OBRA DE EXCEDENCIAS

- ✓ Ubicación Margen Derecha
- ✓ Tipo Dos Canales de concreto revestido
- ✓ Tipo de Compuertas 6 compuertas radiales de 12 x 19 m
- ✓ Longitud Promedio 700 m
- ✓ Gasto Máximo 15,000 m<sup>3</sup>/s
- ✓ Elevación de la Cresta 372 m
- ✓ Período de Retorno 10,000 años

**CANAL DE LLAMADA**



VERTEDOR		
Etapas	Inicia	Termina
Elev. 475-396	25/08/2003	21/02/2004
Elev. 396-367	15/03/2004	25/11/2005

El siguiente anexo fotográfico, es una secuencia de una voladura y sus implicaciones.



Se mide la distancia que existe entre el sitio de la voladura y los muros que se pretenden cuidar, se recaba información de estos para saber de las edades de los concretos y sus resistencias.

Después de realizados los barrenos la empresa encargada de proporcionar los explosivos los lleva al sitio de la voladura.



Se cargan los barrenos de acuerdo a la plantilla de diseño.



Cuando el explosivo ya es colocado se realiza el taco, esto es un tapón del material obtenido de la barrenación.



Personal encargado de los explosivos coloca un sismógrafo, con las graficas obtenidas de este se desarrolla este proyecto, y se calcula los kilogramos máximos

de explosivo que se puede colocar por barreno para no dañar estructura como la que se observa en las fotografías.



Sin duda la voladura libera una gran energía, cual si no es bien calcula nos puede dar problemas.



y por ultimo el material obtenido se separa, uno es llevado para la cortina y el material de mala calidad es desechado.

Este es el proceso que se sigue para todas las voladuras, pero sin embargo algunas voladuras son realizadas sin la supervisión de algún experto, o por la rapidez que exige el proceso constructivo de la presa.

Es por esto que este proyecto proporciona tablas para restringir las próximas voladuras, ya que cuando se este colando parte de la cortina y los vertedores, se estarán llevando acabo muchas mas voladuras y se tiene que tener todo el cuidado posible para no dañar estos materiales recién colocados.

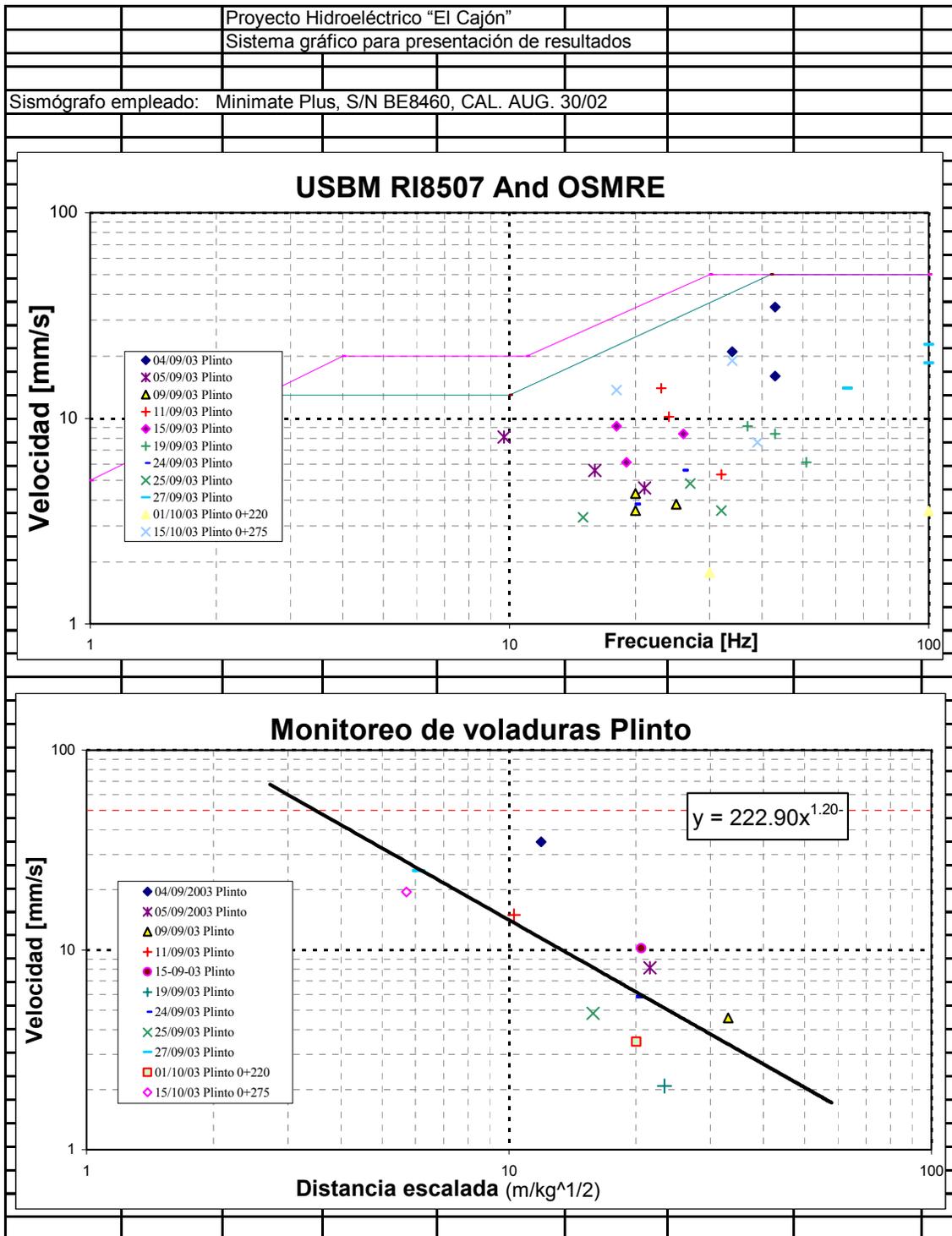
### III.IV RESUMEN DE MONITOREO DE VOLADURAS.

Es importante mencionar que se monitorea todas las zonas del P.H. El Cajón y se coloca el sismógrafo cuando las voladuras son cercanas a una estructura, se grafican los datos del sismógrafo para verificar si están dentro del límite permisible. La velocidad máxima de partícula que se acepta es  $V = 2$  in/s (50.8 mm/s).

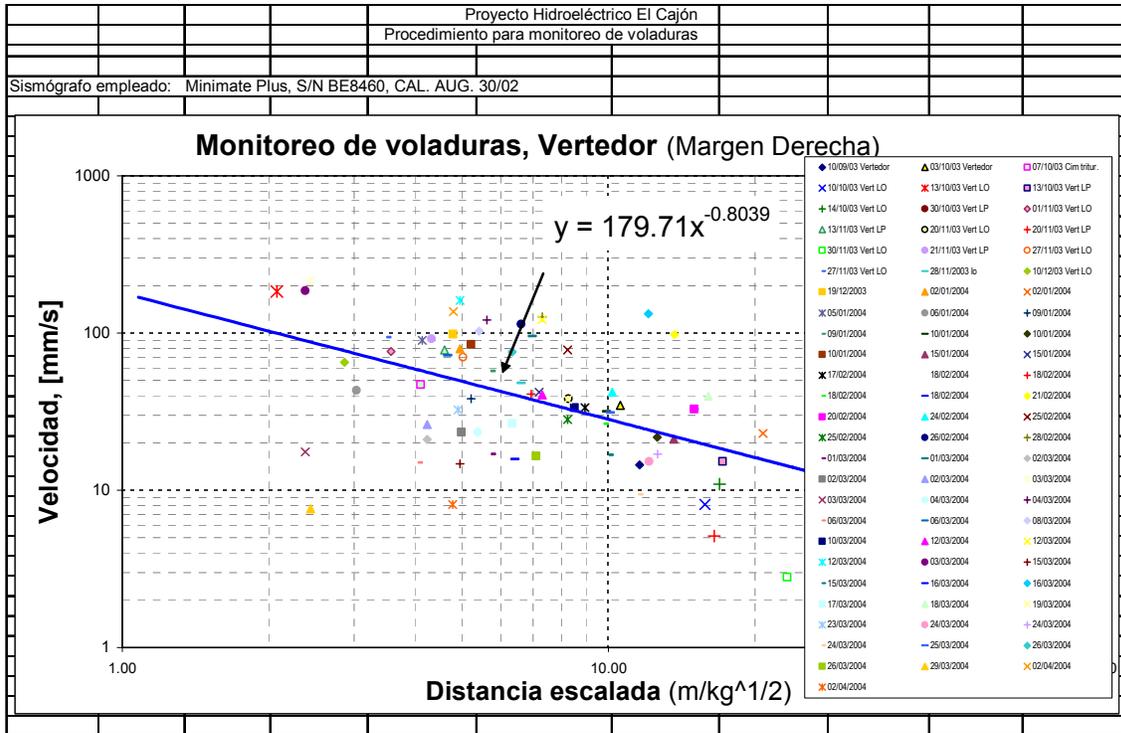
El formato es el siguiente:

		Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”			CP-DP-IGE-PRO-003 r01	
		Procedimiento para monitoreo de voladuras			Anexo 8.2	
Sismógrafo empleado: Minimate Plus, S/N BE8460, CAL. AUG. 30/02						
<b>Voladura en Plinto</b>						
		Fecha: 04/09/03		Distancia al sitio de medición:	56.5 m	
		03:32:15 p.m.		Carga máxima de explosivos:	22.5 kg/tiempo	
	Aceleración	Desplaz max	Velocidad	Frec	Distancia escalada	
	[g]	[mm]	[mm/s]	[Hz]		
canal 1:	1.250	0.28	34.80	43	11.91	
canal 2:	0.540	0.08	16.00	43		
canal 3:	0.520	0.10	21.08	34		
		psv	34.80	mm/s		
<b>Voladura en Plinto</b>						
		Fecha: 05/09/03		Distancia al sitio de medición:	114.0 m	
		04:04:25 p.m.		Carga máxima de explosivos:	28.0 kg/tiempo	
	Aceleración	Desplaz max	Velocidad	Frec	Distancia escalada	
	[g]	[mm]	[mm/s]	[Hz]		
canal 1:	0.190	0.05	5.59	16	21.54	
canal 2:	0.120	0.08	8.13	9.7		
canal 3:	0.130	0.05	4.57	21		
		psv	8.13	mm/s		
<b>Voladura en Plinto</b>						
		Fecha: 09/09/03		Distancia al sitio de medición:	160.0 m	
		14:11:41		Carga máxima de explosivos:	23.5 kg/tiempo	
	Aceleración	Desplaz max	Velocidad	Frec	Distancia escalada	
	[g]	[mm]	[mm/s]	[Hz]		
05/09/2003	canal 1:	0.027	0.00	3.81	25	33.01
16:04:25 p.m.	canal 2:	0.066	0.03	3.56	20	
	canal 3:	0.080	0.03	4.32	20	
		psv	4.57	mm/s		

#### Formato Voladuras 1



Gráfica Sismógrafo 1



**Gráfica Sismógrafo 2**

Esta gráfica es la que se analizo para desarrollar este proyecto, es una grafica en la cual se vierten todos los datos del sismografo y se grafican para obtener una media de todas las voladuras realizadas y saber culas es su velocidad de particula. Con esto se puede concluir si se estan llevando perfectamente las voladuras o si se tiene que cambiar los prametros ya establecidos para realizar las voladuras.

## **Capítulo IV. Procedimiento Utilizado en el “Proyecto Hidroeléctrico el Cajón”**

### **IV.1 Resultados del estudio de Control de Efectos**

Actualmente, en las excavaciones para los Túneles de Desvío y el Plinto de la Cortina, se están alternando en distancias cortas, actividades de uso de explosivos (voladuras) con la colocación de concretos hidráulicos e inyección de morteros de cemento para anclajes.

Con el objeto de evitar producir daños debidos a vibraciones por el uso de explosivos en lo concretos y morteros recién colocados (tiernos), en el **anexo 1 y anexo 2 de este capítulo**, están relacionadas las cantidades máximas de explosivos a utilizar contra las distancias mínimas que deben haber entre los sitios de voladuras y de colocación de los concretos o morteros de inyección de anclas. Además en el anexo 2 se muestran tablas ajustadas en base a un intenso monitoreo de vibraciones debidas a voladuras, tomadas en la margen derecha del proyecto.

Considerando que el concreto o mortero, presenta su fraguado inicial aproximadamente de 0 a 2:30 horas de haberse fabricado éstos, se permitirá que hasta antes de dicho tiempo, se realicen las voladuras con la cantidad de explosivo por tiempo especificada en el **anexo 2**,

También es recomendable no realizar voladuras entre 10 y 14 horas después de concluir cualquier colado o inyección de mortero, ya que estos se encuentran en la transición de su etapa más frágil de endurecimiento (se anexa gráfica tipo).

Y la última gráfica **Anexo 2** sirve para evitar producir daños a las estructuras que son definitivas, que en este caso es el Muro Alabeado y Plinto, además de los taludes.

Pronto se iniciara con los colados de las pilas para el vertedor y simultáneamente se estarán abatiendo taludes para construir la Plaza Cívica, estas voladuras se llevaran acabo cerca del Plinto, Casa de Máquinas y Muro Alabeado.

Las distancias entre las voladuras y zona de afectación varían de 100m a 300m es por so que se sugiere emplear tablas de cargas (**Anexo 2**) Máximas por tiempo para un barreno, esto con el fin de evitar daños, además de llevar acabo las recomendaciones antes mencionadas.

**ANEXO 1**



Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”

**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	2	10	5
20	2	20	8	20	21
30	3	30	18	30	46
40	6	40	31	40	82
50	9	50	49	50	128
60	13	60	70	60	185
70	18	70	95	70	251
80	24	80	125	80	328
90	30	90	158	90	415
100	37	100	195	100	513
150	84	150	438	150	1154
200	150	200	778	200	2051
250	234	250	1216	250	3205

Y=600X<sup>-1.4</sup>

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGÚN REPORTE DE MONITOREO DE VOLADURAS (GENERAL) 15/10/03,

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	2
10	1	10	3	10	8
20	2	20	11	20	30
30	5	30	26	30	68
40	9	40	46	40	120
50	14	50	71	50	188
60	20	60	102	60	270
70	27	70	139	70	368
80	35	80	182	80	480
90	44	90	230	90	608
100	55	100	284	100	751
150	123	150	640	150	1689
200	219	200	1138	200	3002
250	343	250	1777	250	4691

“CONTROL DE EFECTOS EXPLOSIVOS: CASO DE APLICACIÓN P. H. EL CAJÓN”

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	2
10	0	10	2	10	7
20	1	20	9	20	28
30	3	30	21	30	62
40	6	40	37	40	110
50	9	50	58	50	172
60	13	60	83	60	248
70	18	70	114	70	338
80	23	80	148	80	441
90	30	90	188	90	558
100	37	100	232	100	689
150	83	150	521	150	1550
200	147	200	927	200	2756
250	229	250	1448	250	4306

Y=399.53X<sup>-1.25</sup>

NOTA: FORMULA TOMADA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS (GENERAL)

## ANEXO 1



**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	3
10	0	10	3	10	11
20	0	20	11	20	46
30	1	30	26	30	103
40	2	40	46	40	183
50	3	50	71	50	285
60	4	60	102	60	411
70	6	70	139	70	559
80	8	80	182	80	730
90	10	90	230	90	924
100	12	100	284	100	1141
150	27	150	640	150	2568
200	48	200	1138	200	4565
250	74	250	1777	250	7133

Y=179.71X<sup>-0.8039</sup>

NOTA: FORMULA TOMADA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 días,b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	1	10	3
20	0	20	2	20	13
30	0	30	5	30	29
40	1	40	9	40	51
50	1	50	15	50	79
60	1	60	21	60	114
70	2	70	29	70	156
80	2	80	37	80	203
90	3	90	47	90	257
100	3	100	59	100	318
150	7	150	132	150	715
200	13	200	234	200	1271
250	21	250	366	250	1986

Y=300X<sup>-0.8039</sup>

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGUN ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS DE VERTEDOR( MARGEN DERECHO)

**ANEXO 2**

**“CONTROL DE EFECTOS EXPLOSIVOS: CASO DE APLICACIÓN P. H. EL CAJÓN”**

RESUMEN DE RESULTANOS OBTENIDOS



**Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”**  
CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A CONCRETOS Y MORTEROS RECIEN COLOCADOS

**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

CONCRETO 8 a 12 horas		CONCRETO 12 horas a 3 días		a)C. 3 a 7 días días,b)C lanzado 2 a 6 horas, c)E. Electronicos	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=25mm/s (1.0 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=51mm/s (2.0 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	1	10	4
20	0	20	3	20	17
30	1	30	7	30	39
40	2	40	12	40	70
50	3	50	18	50	109
60	4	60	27	60	157
70	6	70	36	70	214
80	8	80	47	80	279
90	10	90	60	90	353
100	12	100	74	100	436
150	27	150	166	150	981
200	48	200	296	200	1743
250	74	250	462	250	2724

CONCRETO 7 a 28 días		a)C. > 28 días,b)C lanzado más de 6 horas		a)Concreto 0 a 4 horas,b) Concreto lanzado 0 a 2 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=60mm/s (2.4 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (3 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=100mm/s (4 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	2	5	3	5	6
10	7	10	11	10	23
20	26	20	46	20	93
30	59	30	103	30	210
40	105	40	183	40	373
50	164	50	285	50	583
60	235	60	411	60	840
70	321	70	559	70	1144
80	419	80	730	80	1494
90	530	90	924	90	1890
100	654	100	1141	100	2334
150	1472	150	2568	150	5251
200	2616	200	4565	200	9335
250	4088	250	7133	250	14586

$Y=179.71X^{\wedge}-0.8039$

NOTA: FORMULA OBTENIDA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

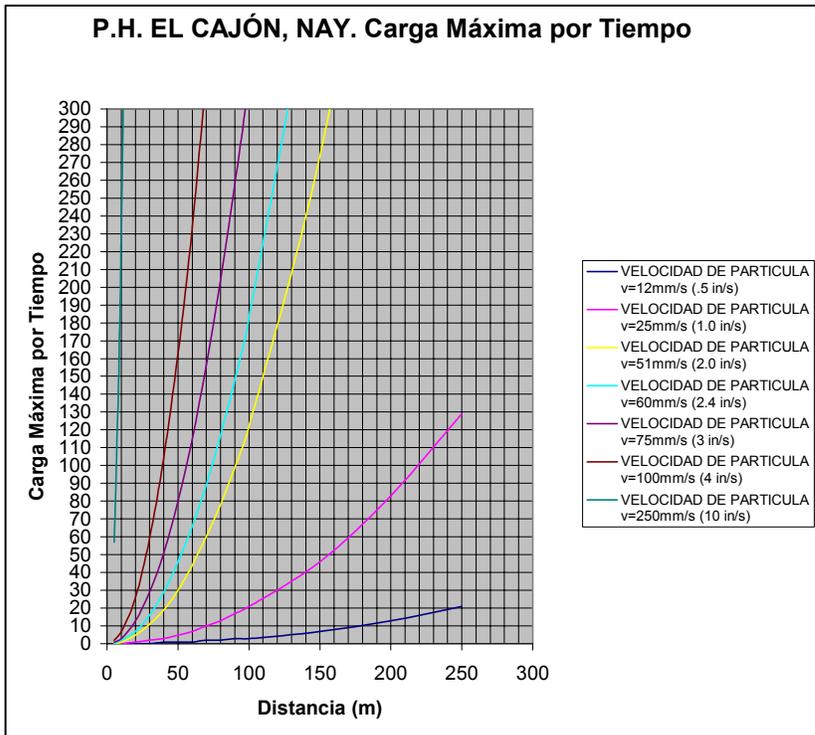
RESUMEN DE RESULTANOS OBTENIDOS



Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”  
CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A ESTRUCTURAS DEFINIIVAS

CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS

DAÑO A LA ROCA	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=250mm/s (10 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	57
10	230
20	918
30	2066
40	3673
50	5739
60	8264
70	11249
80	14692
90	18595
100	22957
150	51653
200	91827
250	143480



$Y=179.71X^{-0.8039}$

NOTA: FORMULA OBTENIDA DE LOS ULTIMOS DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

## IV.II RESUMEN DE DATOS PROPUESTOS

### RESUMEN DATOS PROPUESTOS



**Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”**  
CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A CONCRETOS Y MORTEROS RECIEN COLOCADOS

### CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS

CONCRETO 8 a 12 horas		CONCRETO 12 horas a 3 días		a)C. 3 a 7 días días,b)C lanzado 2 a 6 horas, c)E. Electronicos	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=25mm/s (1.0 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=51mm/s (2.0 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	0
10	0	10	0	10	1
20	0	20	1	20	5
30	0	30	2	30	11
40	1	40	3	40	19
50	1	50	5	50	30
60	1	60	7	60	44
70	2	70	10	70	60
80	2	80	13	80	78
90	3	90	17	90	99
100	3	100	21	100	122
150	7	150	46	150	274
200	13	200	83	200	487
250	21	250	129	250	761

CONCRETO 7 a 28 días		a)C. > 28 días,b)C lanzado más de 6 horas		a)Concreto 0 a 4 horas,b) Concreto lanzado 0 a 2 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=60mm/s (2.4 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (3 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=100mm/s (4 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	1	5	2
10	2	10	3	10	7
20	7	20	13	20	26
30	16	30	29	30	59
40	29	40	51	40	104
50	46	50	80	50	163
60	66	60	115	60	234
70	89	70	156	70	319
80	117	80	204	80	416
90	148	90	258	90	527
100	183	100	319	100	651
150	411	150	717	150	1464
200	730	200	1276	200	2603
250	1141	250	1993	250	4067

Y=300X<sup>-0.8039</sup>

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGUN DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

**RESUMEN DATOS PROPUESTOS**

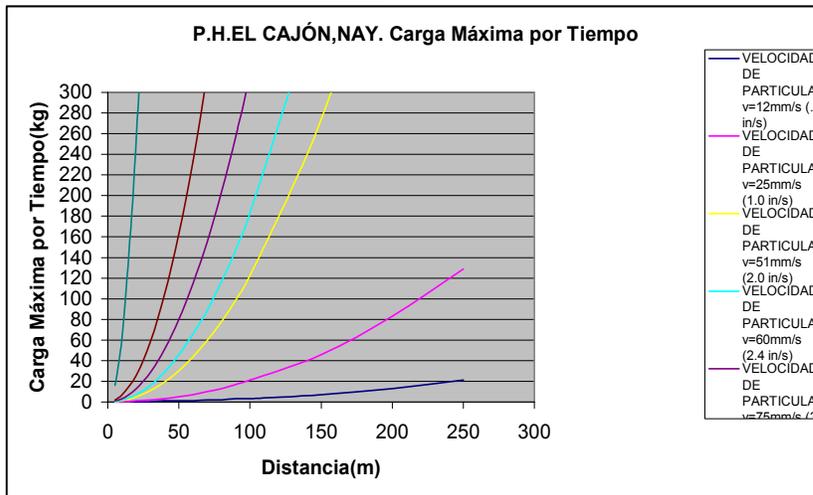


**Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”**

CARGAS PERMISIBLES PARA VOLADURAS CERCANAS A ESTRUCTURAS DEFINIIVAS

**CONTROL DE EFECTOS POR VOLADURAS**

DAÑO A LA ROCA	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=250mm/s (10 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	16
10	64
20	256
30	576
40	1024
50	1600
60	2304
70	3136
80	4096
90	5184
100	6400
150	14400
200	25600
250	40000



$Y=300X^{-0.8039}$

NOTA: FORMULA PROPUESTA SEGUN DATOS REGISTRADOS DE MONITOREO DE VOLADURAS VERTEDOR (MARGEN DERECHO)

## **CONCLUSION**

### **RECOMENDACIONES DEL USO DE EXPLOSIVOS. PILAS Y MUROS DE CONCRETO EN OBRA DE EXCEDENCIAS, P.H. EL CAJÓN**

La obra de excedencias garantiza el gasto requerido para la funcionalidad de la central hidroeléctrica, controlando las avenidas extraordinarias del río Santiago y la seguridad de la obra de contención. La obra de excedencias consta de tres estructuras principales:

Canal de llamada, corresponde a la entrada del agua al vertedor; es una excavación a cielo abierto en la ladera, con bermas y tratamientos en taludes,

Estructura de control, es donde se realiza la regulación del embalse cuando se llegue a los niveles máximos de operación, consta de cimacio, pilas, muros laterales, compuertas, losa puente y mecanismo de manejo de las compuertas; la estructura de control es de concreto reforzado, tiene seis compuertas de 12 m de ancho cada una, con pilas intermedias de 3,80 m de espesor, con un ancho total de 91,0 m. y

Canal de descarga, es la salida del agua, la estructura la constituyen muros laterales, losa, aireadores, cubeta deflectora y canal de regreso al río.

A continuación, dada su importancia en el presente trabajo que busca controlar el posible daño por efectos de voladuras, se describen brevemente los elementos principales de la estructura de control:

El nivel superior del cimacio (cota 372,0) y el nivel del puente de maniobras (cota 396,0) las compuertas radiales son de 25 m de radio operadas mediante un sistema de servomotores apoyado en la viga testera en el extremo de aguas debajo de pilas laterales. Además de las compuertas, la estructura de control dispone de ranuras para la colocación de agujas de cierre temporal para mantenimiento de las compuertas radiales. La longitud del cimacio en la dirección del flujo es de 53,6 m.

El cimacio cuenta con una galería de inyección y drenaje que se conecta con la galería GD-2 con el mismo objeto de servir para las inyecciones profundas y el drenaje, recolectando y conduciendo las filtraciones de la ladera derecha a una galería central que va del cimacio hasta el extremo de aguas abajo del canal del vertedor. En el extremo de aguas abajo del cimacio y a todo lo largo del canal del vertedor, se tienen colectores de filtraciones en arreglo de espina de pescado que se conectan con la galería central. En la galería del cimacio se efectúa la pantalla de inyección, este tratamiento permite reducir la fuerza de sub-presión en la estructura de control.

En el canal de llegada, junto a la estructura de control, se dispone de una losa de concreto y muros laterales de 38,0 m de largo que tiene la función de crear una longitud mayor de gradiente entre la presión del embalse y la presión nula en el extremo opuesto.

La estructura de control se revisa por estabilidad general y resistencia, las cargas son las mismas pero manejadas de diferente manera. Por ejemplo para la revisión de la estabilidad se revisan las fuerzas que afectan al conjunto en la dirección al flujo y que producen efectos de inestabilidad como son: desplazamiento y flotación. Para la revisión por resistencia se emplean las fuerzas que producen los máximos esfuerzos en los electos estructurales (carga axial, flexión y cortante) y así determinar el acero de refuerzo requerido en cada uno de ellos.

Todas estas estructuras serán construidas simultáneamente con la Plaza Cívica, por lo que se desarrollaran intensas voladuras.

Al efectuar una voladura, la vibración que esta produce se ve afectada por :

La distancia entre la voladura y las estructuras que se desean proteger, Los tiempos de fraguado de los concretos, y Las cargas máximas de explosivo que se recomiendan a un determinado tiempo de fraguado de los concretos y a cierta distancia de los mismos.

CONCRETO 2 a 8 horas		CONCRETO 8 a 10 horas		a)C. > 28 dias.b)C. lanzado más de 6 horas	
VELOCIDAD DE PARTICULA v=12mm/s (.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=38mm/s (1.5 in/s)		VELOCIDAD DE PARTICULA v=75mm/s (2.95 in/s)	
DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)	DISTANCIA ENTRE VOLADURA Y COLADO (m)	CARGA DE EXPLOSIVO DETONADO EN UN SOLO TIEMPO (kg)
5	0	5	0	5	1
10	0	10	1	10	3
20	0	20	2	20	13
30	0	30	5	29	29
40	1	40	9	29	29
50	1	50	15	29	29
60	1	60	21	29	29
70	2	70	29	29	29
80	2	80	29	29	29
90	3	90	29	29	29
100	3	100	29	29	29
150	7	150	29	29	29
200	13	200	29	29	29
250	21	250	29	29	29

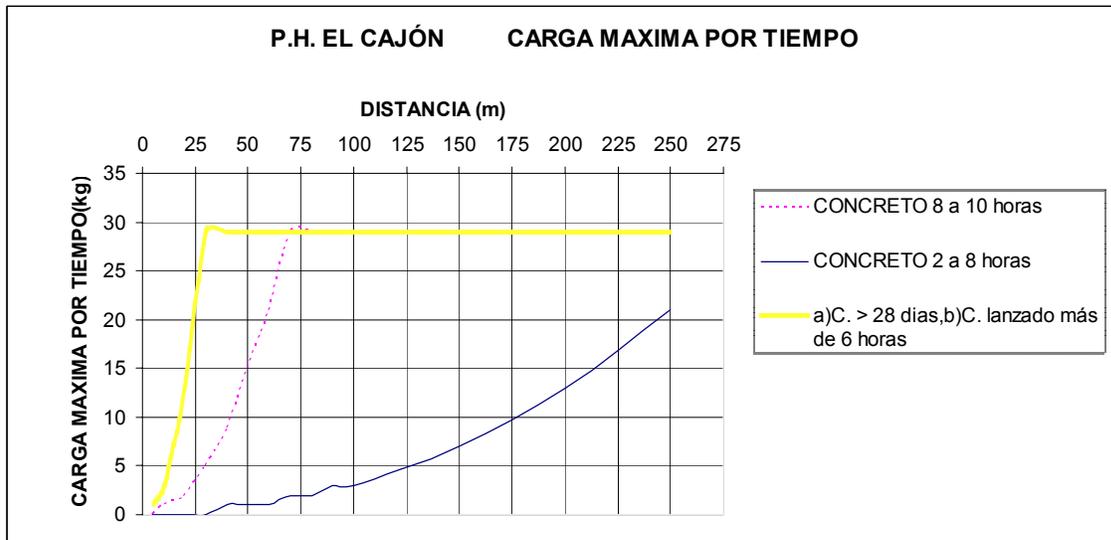
$Y=300X^{-0.8039}$

Nota: A partir de que el concreto tiene mas de 8 horas de ser colocado se puede cargar con más explosivo el barreno, sin embargo en el presente trabajo se seguirá restringiendo a 29 kg máximo por cada barreno.

Es recomendable no realizar voladuras entre 10 y 14 horas después de concluir cualquier colado o inyección de mortero; ya, en este intervalo, los concretos se encuentran en transición de su etapa más frágil de endurecimiento.

En el plano se puede ver claramente el sitio donde será construida la “PLAZA CIVICA”; mediante una cuadrícula de 10m x10m, se puede calcular fácilmente la distancia entre voladura y estructura. A continuación se muestra una gráfica de la relación entre D vs. Carga máx., Se propone dar esta gráfica a personal de campo involucrado en este trabajo, para que conozcan las restricciones en el cargado de barrenos; asimismo, se sugiere tener personal calificado de campo para la revisión de cada voladura.

Gráfica para campo



## **BIBLIOGRAFIA**

Olofsson S., Applied explosives technology for construction and mining, Nora Trickeri, Sweden, 1998.

Dowding Ch., Suggested method for blasting vibration monitoring, international journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol.29. No.2, March 1992, Pergamon Press.,

Yáñez David y Herrera S., “Uso de explosivos en el proyecto Termoeléctrico Topolobampo II. Sin., IV Reunión Nacional de Mecánica de Rocas, Taxco, Gro., septiembre de 1993.

Yáñez David y Herrera S., “Planeación Geotécnica para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Ampliación Temascal, Oaxaca.” Primer Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles, Ciudad de México. 1995.

Yáñez David y Herrera S., “Excavación del recinto para la casa de maquinas del proyecto Hidroeléctrico Paliación Temascal,. Oax., Revista del colegio de ingenieros Civiles de México, julio de 1996

Terra Corporación, S.A. de C.V. “Manual Técnico de soluciones Eficientes para Voladuras.