



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**“ A R A G O N ”**

B.  
22

**“DEMOLICION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO DAÑADAS  
POR SISMOS, MEDIANTE EL USO DE EXPLOSIVOS”**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

**Presenta:**

**SERGIO ALEJANDRO GAMEZ MORENO**

Director de Tesis: Ing. Carlos E. Castañeda N.

**FALLA DE ORIGEN**

San Juan de Aragón, Mex.

1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

"DEMOLICION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO  
DAÑADAS POR SISMOS, MEDIANTE EL USO DE  
EXPLOSIVOS".

- OBJETIVO
  - INTRODUCCION
  - I.- GENERALIDADES
  - II.- DETERMINACION DE DAÑOS EN LAS ESTRUCTURAS
  - III.- MEDIDAS DE SEGURIDAD ADOPTADAS EN LAS - - -  
ESTRUCTURAS.
  - IV.- DESARROLLO DEL PROYECTO
  - V.- DETERMINACION DEL SISTEMA
  - VI.- OTRAS APLICACIONES
- CONCLUSIONES
- APENDICES
- BIBLIOGRAFIA

## CONTENIDO

OBJETIVO-----	1
INTRODUCCION -----	2
CAPITULO I	
I.- GENERALIDADES -----	9
1.1.- SISTEMAS DE DEMOLICION DE ESTRUCTURAS	
SISTEMA TRADICIONAL-----	10
SISTEMA DE AGUA Y PERA -----	12
SISTEMA CON EXPLOSIVOS -----	14
1.2.- EXPLOSIVOS	
1.2.1.- QUIMICA Y FISICA DE LOS EXPLOSIVOS -----	38
1.2.2.- COMPOSICION -----	43
1.2.3.- CLASIFICACION -----	46
1.2.4.- TIPO DE EXPLOSIVOS -----	48
1.2.5.- PROPIEDADES -----	53
CAPITULO II	
II.- DETERMINACION DE DAÑOS EN LAS ESTRUCTURAS-----	65
2.1.- DAÑOS LEVES -----	66
2.2.- DESPLOMES -----	66
2.3.- COLAPSO PARCIAL O TOTAL -----	66

2.4.- DERRUMBES -----	67
2.5.- LEVANTAMIENTO DE DAÑOS -----	67

### CAPITULO III

III.- MEDIDAS DE SEGURIDAD ADOPTADAS EN LAS ESTRUCTURAS	82
3.1.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS A CONSIDERAR PARA LA EDUCACION DE LOS DISPOSITIVOS. -----	
3.1.1.- GRADOS DE LIBERTAD DE LA ESTRUCTURA A DEMOLES --	82
3.1.2.- ALTURA DE LA ESTRUCTURA -----	82
3.1.3.- UBICACION -----	83
3.1.4.- ESTADO FISICO QUE OBSERVAN LAS ESTRUCTURAS CO-- LINDANTES -----	83
3.1.5.- TIPO DE EXPLOSIVO A EMPLEAR -----	83
3.2.- DISPOSITIVOS DE CONTROL -----	84
3.3.- DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD -----	85
3.4.- MEDIDAS DE SEGURIDAD ADICIONALES -----	86

### CAPITULO IV

IV.- DESARROLLO DEL PROYECTO -----	92
4.1.- ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA	
4.1.1.- INSPECCION EXTERIOR -----	92
4.1.2.- INSPECCION INTERIOR -----	94

4.1.3.- DIAGNOSTICO -----	95
4.2.- DETERMINACION DE CARGAS -----	96
4.3.- ANALISIS ECONOMICO	
4.3.1.- DEMOLICION TRADICIONAL -----	106
4.3.2.- DEMOLICION DE EXPLOSIVOS -----	110
CAPITULO V	
V.- DETERMINACION DEL SISTEMA -----	122
5.1.- ESTIMACION DE TIEMPOS DE DETONACION -----	122
5.2.- DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA -----	124
CAPITULO VI	
VI.- OTRAS APLICACIONES -----	141
6.1.- VOLADURA DE ESTRUCTURAS ANTIGUAS -----	141
6.2.- REMOCION DE PRESAS -----	143
6.3.- DEMOLICION DE PUENTES -----	148
6.4.- CORTE DE MADERA ESTRUCTURAL -----	157
CONCLUSIONES -----	159
APENDICES	
APENDICE A -----	163
APENDICE B -----	177
APENDICE C -----	179
APENDICE D -----	180

APENDICE E -----	181
APENDICE F -----	190
APENDICE G -----	191
BIBLIOGRAFIA -----	192

## OBJETIVO

El presente trabajo persigue, como meta primordial, en dar una descripción general de los trabajos realizados en el proceso de demolición de estructuras de concreto mediante el empleo de explosivos, así como el de aportar la información recopilada a través de las experiencias obtenidas en las demoliciones realizadas en el Distrito Federal.

Para la técnica de demolición con explosivos, se mencionarán actividades más importantes que intervienen, tales como: los diferentes aspectos que se consideran en la toma de decisiones, las preparaciones que se realizan, dónde, como y cantidad a colocar de explosivos, medidas de seguridad y evaluación de resultados.

Así como se contempla dar a conocer procedimientos que aporten una solución a la industria de demoliciones y presentar los criterios básicos para el diseño del sistema de demolición.

## INTRODUCCION

### EFFECTOS DE LOS SISMOS EN LA REPUBLICA MEXICANA.

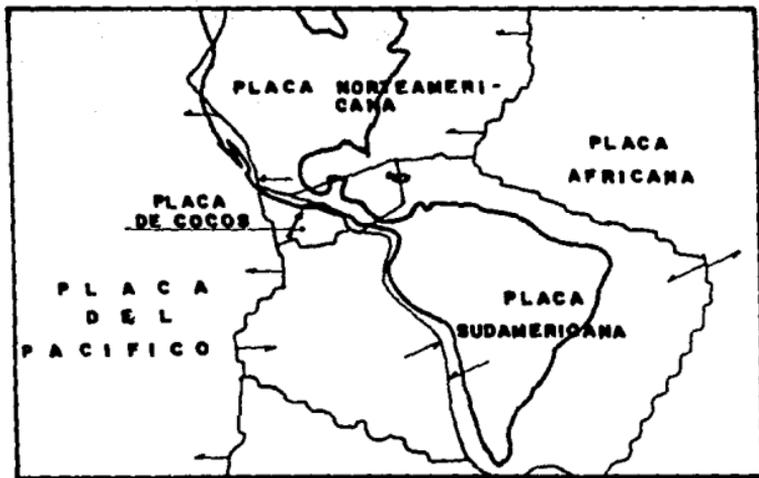
Desde tiempos pasados, y por la ubicación en que se encuentra, nuestro país ha sufrido constantes movimientos telúricos. El más reciente significó uno de los mayores desastres de nuestra historia e incluso a nivel mundial.

En el año 1957, gran parte de nuestro país y en especial el Distrito Federal resintió un fuerte sismo cuyos daños causados puso en evidencia la falta de seguridad en las estructuras, lo que finalmente condujo a la revisión del reglamento para construcciones, concretamente para el Distrito Federal.

El 19 de Septiembre de 1985, un nuevo sismo afectó al país y nuevamente azotando fuertemente a la capital de la República la cual sufrió uno de los mayores desastres ocurridos en la historia urbana mundial. Dicho sismo se originó en las costas del Estado de Michoacán a unos 400 Km. aproximadamente de la Ciudad de México. De acuerdo con los informes de los Institutos de Ingeniería y Geofísica de la U.N.A.M., la localización preliminar del epicentro se estableció en las coordenadas  $18.27^{\circ}$  N y  $192.75^{\circ}$  W. La magnitud reportada fué de  $M_s=7.8$  y días después, con base en datos de mayor número de estaciones sismológicas se corrigió a  $M_s=8.1$  ( en la escala de Richter ). Como se sabrá en el Océano Pacífico y frente a las costas de los Estados de Guerrero y Michoacán se localiza la placa de "cocos" la cual se encuentra en constante fricción sobre la placa continental, y cuando la fricción se rompe se produce un deslizamiento de placas originando con ello la propagación de ondas la

cual genera el movimiento de tierra.

Esquema: Acción de las Placas sobre el Continente Americano.



Es por ello, y aunado al tipo de suelo ( arcilloso) en que se encuentra, por lo que nuestra capital es altamente propensa a este tipo de movimientos que, en algunos casos, dañan seriamente a las estructuras, por lo que el avance técnico y tecnológico en la rama ingenieril y especialmente en la Ingeniería Sísmica es prioritario.

Así independientemente de los graves y lamentables desastres de sobra conocidos debemos esperar y de hecho lo estamos ya viviendo, --

fundamentales cambios y avances en diferentes disciplinas, principalmente en el campo de la Ingeniería Civil, tal como lo demuestran las siguientes conclusiones surgidas a raíz del sismo:

El sismo demostró nuestro escaso conocimiento relativo a las características diversas del subuelo.

Se requerirá mayor prioridad a las actividades de conservación y mantenimiento en los edificios.

El comportamiento de edificios ante sollicitaciones sísmicas es más inelástico de lo que se presumía.

Las estructuraciones asimétricas resultan particularmente endebles ante los efectos; lo mismo ocurre en los edificios de primer piso flexible y en los ubicados en esquina.

La separación de colindancias se respetará en forma mucho más rigurosa que en el pasado.

El cambio brusco de sección en columnas aumenta la vulnerabilidad ante fuerzas horizontales ( cortantes ).

El comportamiento de las intersecciones entre trabes y columnas y en especial entre marcos y losas, evidenciaron la necesidad de revisar los criterios de diseño.

El incremento excesivo de cargas vivas por cambio de uso, condujeron a centenas de colapsos.

El conjunto suelo-cimentación-estructura a nivel proyecto deberá recibir supuestos y simulaciones más realistas para afinar detalles de diseño.

En general, nuevamente se procede a una actualización en cuanto al Reglamento de Construcciones en el D. F.

Uno de los avances dentro del campo de la Ingeniería es la implantación de un sistema de demolición mucho más rápido que los tradicionales, que en casos de desastre y en zonas muy pobladas, se justifica; dicho sistema es el empleo de explosivos en demoliciones, siendo los Estados Unidos el país pionero en la aplicación de este procedimiento.

#### EMPLEO DE EXPLOSIVOS A RAIZ DE LOS SISMOS DE 1985.

El evento sísmico del 19 de Septiembre de 1985, tuvo una magnitud de 8.1 en la escala de Richter y una duración total de unos 80 segundos -- dos, la parte más intensa del sismo fué de 40 segundos aproximadamente.

Debido a las características del mecanismo de ruptura y a la distancia epicentral, las ondas con mayor contenido de energía que arribaron al Valle de México fueron ondas de cortante (S). Las ondas de -- comprensión (P) transmitieron relativamente poca energía y a las -- superficies ( Rayleigh. R ) fueron amortiguadas. Por tanto, se puede decir que el haz de ondas sísmicas que exitó al Valle estuvo básicamente compuesto de ondas de cortante.

Los efectos causados por dichas ondas se reflejaron principalmente en el comportamiento de las estructuras. A consecuencia de estas ondas fueron afectadas un número apreciable de construcciones, de las cuales algunas colapsaron y otras resultaron con diversos grados de daño en los principales elementos de la estructura, tales como cimientos, columnas, trabes, losas, etc.

En octubre del mismo año, se tenían reportes de 6,000 inmuebles dañados en esta ciudad, de los cuales se identificaron aproximadamente 3,000 con daños leves, 2,150 con fracturas y desplomes y 850 con -- colapsos parcial o total, estos últimos con la necesidad de su demolición.

Dadas las condiciones que se presentaron después de los sismos y -- buscando primordialmente la seguridad de la población surgió la necesidad en primera instancia de la remoción de escombros y segunda, la demolición rápida de los inmuebles que representaban un peligro inmediato. Compañías extranjeras, principalmente norteamericanas -- fueron quienes aportaron la asesoría para la aplicación de explosivos en las demoliciones.

Se asignó a las autoridades del Departamento del Distrito Federal -- la responsabilidad de las demoliciones con explosivos. La aplicación y el seguimiento de esta técnica recayó específicamente en la comisión de Vialidad y Transporte Urbano ( COVITUR ) .

Las demoliciones que se han realizado hasta la fecha han sido comprendidas por diversas compañías constructoras Mexicanas, para esto, han colaborado las diversas Dependencias de Gobierno que, por sus funciones, deben participar en el proceso de demolición, tal es el caso de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), - - D.D.F., etc., así como los colegiados afines como la S.M.E, C.I.C.M. y la S.M.M.S.

Hasta septiembre de 1986, se ha demolido en esta Ciudad 38 edificios mediante la utilización de explosivos. Los resultados obtenidos hasta la fecha han sido bastante satisfactorios, y se ha cumplido, en el renglón de las demoliciones, con una parte importante del proceso de reconstrucción de la Ciudad de México.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1.- SISTEMA DE DEMOLICION DE ESTRUCTURAS**

#### **1.2.- EXPLOSIVOS**

## 1. GENERALIDADES.

En el presente capítulo se presenta una breve semblanza de los principales métodos empleados para demolición de estructuras, hasta hoy aplicados, a fin de poder comparar, posteriormente, dichos métodos y con ello, tener las bases necesarias para seleccionar el más adecuado para realizar una demolición considerando primordialmente los resultados obtenidos en los análisis de peritaje estructural y de mecánica de suelo, así como el análisis económico donde se justifique que el método seleccionado es el adecuado.

En forma particular, y por la importancia que representa para este trabajo, se presenta un resumen sobre la química y características de los principales explosivos empleados en trabajos de voladura y demolición.

### 1.1.- SISTEMAS DE DEMOLICION DE ESTRUCTURAS.

Hoy en día, se aplican diversos métodos para tal fin, unos muy novedosos, otros muy prácticos, y otros con alto grado de riesgo, pero en general serán los factores de costo y tiempo los que marcarán la pauta para determinar el sistema a emplear. Como ejemplo podría mencionarse la utilización del rayo láser el cual se emplea, principalmente en países Europeos, para realizar cortes en concreto de hasta 2 cm. de espesor, pero por razones que saltan a la vista, su empleo resulta muy costoso.

En México, y a raíz del sismo pasado, son tres métodos o sistemas ya utilizados en este tipo de trabajos, aunque existe la posibilidad de aplicar una combinación de éstos; por ejemplo, el método co-

nocido como "Tradicional Combinado", el cual consiste en demoler una parte del inmueble, generalmente la más alta, en forma manual y con empleo de equipo mecánico, el resto de la estructura se demolerá - - mediante el uso de grúa y pera.

Otro caso en donde se realizan, en primera instancia, aberturas y perforaciones en los elementos de concreto por medio de trabajos -- pequeños a base de explosivos, que se denominan voladuras. Se hacen agujeros por perforación mecánica y mediante una buena dosificación de las cargas puede lograrse una separación de dimensiones precisas; por último, se termina la demolición en forma convencional. Cabe mencionar que el trabajo con explosivos es por mucho el método más económico para la demolición ( esto en elementos altos ) de estructuras de concreto, pero no puede utilizarse muy a menudo por las consecuencias de las vibraciones, las cuales difícilmente pueden preverse con precisión.

Los principales sistemas, a los que se hace referencia, son los siguientes:

- a).- Tradicional
- b).- Grúa y Pera
- c).- Explosivos.

A continuación se describen estos métodos, enfatizando el sistema de explosivos por ser el de interés y el menos conocido.

#### SISTEMA TRADICIONAL

Interesa considerar aquel sistema tradicional que se lleva a cabo -

utilizando equipo manual y mecánico combinado. Este sistema consiste en realizar la demolición de muros, losas y columnas de cada entrepiso, empezando de arriba hacia abajo. Por lo general es conveniente eliminar primeramente los muros divisorios del entrepiso que se está demoliendo, para que no interfieran con la caída de los tableros de la losa que se demuele posteriormente. Para esto se demuele una franja perimetral al tablero por demoler de aproximadamente 20 cms. de ancho, sin cortar el acero de refuerzo hasta que no se haya terminado con la franja correspondiente. Una vez terminada se procede a cortar con soplete el refuerzo de la losa.

Las columnas pueden seccionarse a cada 2 niveles aunque esto no es regla general. Se debe cuidar de no acumular demasiado escombros en un piso, para evitar sobrecarga; para lograrlo, se puede eliminar un tablero común en todos los pisos, para arrojar ahí el material, producto de la demolición, de un entrepiso hasta el nivel del suelo.

El sistema tradicional es un procedimiento de demolición que por sus características propias, es relativamente lento. Es el más apropiado para estructuras de poca altura, generalmente de 1 a 4 niveles. Así mismo, es un sistema utilizado en edificios de altura con problemas de colindancias.

Normalmente se presentan interferencias entre el proceso de demolición y el de remoción de escombros, por lo que ambos procesos deberán realizarse en forma simultánea.

## SISTEMA DE GRUA Y PERA

Este procedimiento consiste en subir con una grúa, hasta una altura conveniente, una masa (pera) y dejarla caer para golpear los elementos que conforman el sistema de entrepiso, repitiendo esta operación hasta lograr que se colapse el piso que se está demoliendo.

Debido a que los elementos fundamentales con que se cuenta para llevar a cabo la demolición son la masa y el impacto de esta sobre los elementos de piso, es necesario contar con una grúa lo suficientemente potente para manejar, por un lado, una masa adecuada y por otro, una pluma de buena altura para lograr el impacto correcto. Es factible cambiar de grúa, a una de menor potencia, cuando ya se han eliminado los pisos superiores.

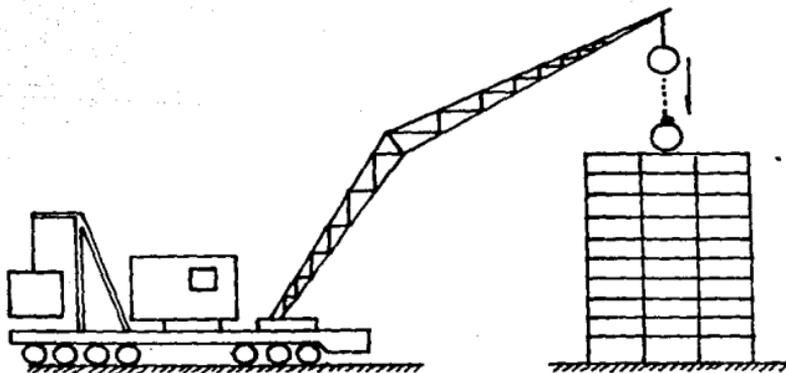


Figura 1.1.1. Método de Grúa y pera.

Se recomienda eliminar con el procedimiento convencional, todos -- los muros que se puedan en el entrepiso inferior del piso que se va a demoler a fin de dejar el menor número de apoyo a las losas, facilitando con esto el trabajo de la grúa.

Por experiencia se sabe que, a medida que se avanza, llega una etapa en que la eficiencia de la pera empieza a disminuir, esto se debe a que el refuerzo enmarañado de los pisos superiores que se ha ido acumulando funciona como amortiguador del golpe de la pera, por lo que será necesario retirar esta cama de acero de refuerzo para continuar con la operación.

Una variante de este sistema consiste en utilizar una draga la cual, adicionalmente al impacto vertical, se puede golpear lateralmente debido a las características de giro de este equipo. Con esto se pueden demoler con cierta facilidad los elementos verticales como columnas y muros. Las limitaciones de las dragas en comparación a las grúas -- consiste en la capacidad menor de la masa y de la pluma que pueden -- manejar.

Con el procedimiento de grúa y pera se logran tiempos de demolición -- considerablemente menores que con el sistema tradicional. El edificio, de preferencia, debe tener dos lados libres para facilitar la aproximación de la grúa; el inconveniente, por lo general, resulta del alto costo de la mano de obra. Un límite de altura razonable para utilizar este procedimiento es de 7 niveles.

SISTEMA CON EXPLOSIVOS.

El concepto general de demoler un edificio con explosivos consiste - en colocar cargas en lugares estratégicos, de tal manera que, al detonar, se eliminen el número suficiente de apoyos de la estructura, - y en una secuencia tal, que provoquen, por un lado, que la estructura se desplome en la dirección deseada, y por otro, que la fragmentación del mismo sea adecuada.

Dentro de los aspectos que deben contemplarse, para las preparaciones previas que se le deben hacer a un edificio, está el de un levantamiento de daños que este tenga. De esta manera se sabrá que preparaciones se le pueden efectuar al edificio, para no arriesgar vidas humanas.

Entre más alto es un edificio, menos explosivos se requiere colocar, debido a que se puede aprovechar el peso propio del edificio, para - que trabaje en nuestro favor. En edificios de poca altura, y por lo tanto de poco peso, será necesario colocar explosivos en un mayor -- número de niveles.

Por ejemplo, en un edificio de 10 niveles, es probable que se requieran preparar del orden de cuatro niveles, para tener un resultado -- satisfactorio. En cambio, en un edificio de 15 niveles, es probable, que aún siendo más alto que el primero, con solo preparar 3 niveles - se tendrían resultados igualmente satisfactorios, aunque el diseño - deberá ser más minucioso.

Las preparaciones a las que se hace referencia, consisten, en perforar barrenos en las columnas. Para esto, se hacen barrenos de aproximadamente  $1/4"$  en el sentido largo de la columna y a una profundidad que oscila del 75 al 80% de la dimensión en ese sentido.

Cuando se trata de columnas cuadradas o circulares, es indistinto el sentido en el que se perfora. Una vez barrenadas, se cubren con malla ciclón y triplay, tal como se muestra en la figura 1.1.2.

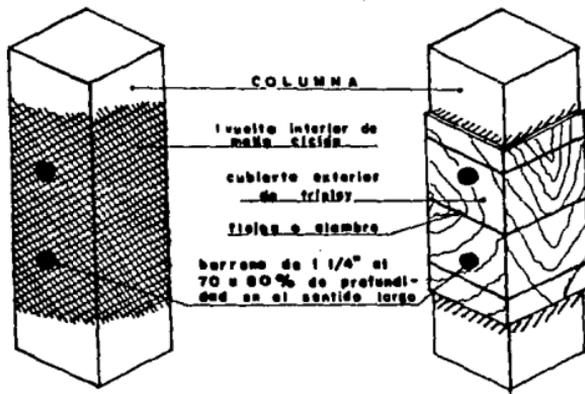


FIGURA. 1.1.2. Barrenado y protección en columnas de concreto.

Para decidir el número de niveles en los que se deba barrenar para colocar explosivos, dependerá de las características propias tanto del edificio como del explosivo a utilizar. En general, se trata de lograr que el edificio, durante la caída, adquiera buena velocidad para que se logre una adecuada fragmentación. Una preparación, para el caso del edificio de 10 niveles, podría ser como se indica en la figura 1.1.3.

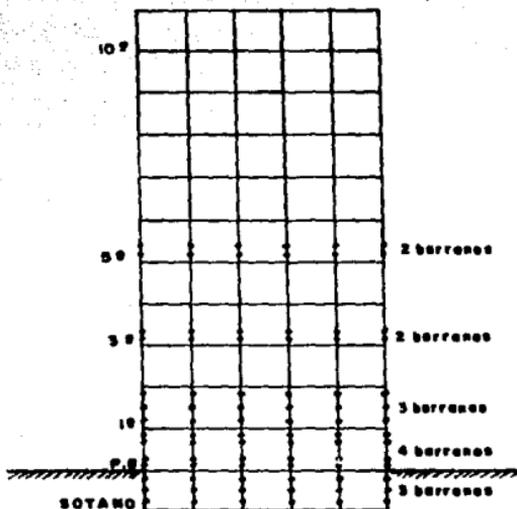


Figura 1.1.3 Número de niveles a preparar y cantidad de barrenos en cada columna.

En la figura anterior se observa que es necesario realizar un mayor número de barrenos en los pisos inferiores, dado que es donde se po-

drá lograr que el edificio adquiera velocidad de caída. Para que -- la velocidad de caída no se pierda, es conveniente hacer preparacio nes adicionales en algunos pisos superiores. La distribución de los barrenos en cada columna, según el nivel en que se encuentra, depen derá, nuevamente de las características propias de la estructura, - aunque un arreglo teórico podría ser el mostrado en la figura 1.1.4.

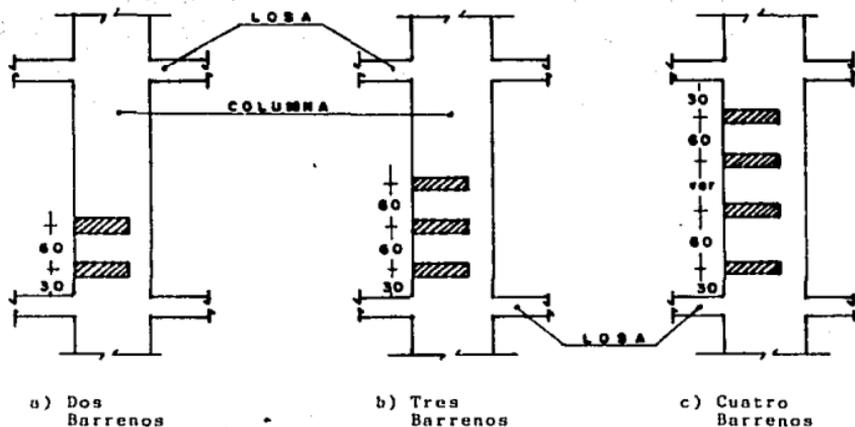


Figura 1.1.4. Distribución con la altura de los Barrenos.

La cantidad de explosivos que se coloca en cada barrenos, está en -- función de la resistencia del concreto y de la cantidad de acero de refuerzo en la columna. Siempre que sea posible, será conveniente - realizar previamente una prueba de explosivos en algunas columnas - para calibrar la cantidad a utilizar. Se deberá colocar el explosivo centrado a la columna, tal como se muestra en la figura 1.1.5.

En ocasiones, debido a restricciones de colindancias, es necesario asegurar que el edificio al caer, despegue suficientemente del edificio colindante. En estos casos es necesario recurrir a la utilización de cables para lograr dicho propósito. Los cables generalmente se colocan en forma inclinada, de tal forma que al desplomarse primero una de las columnas, esta jale a la columna siguiente. Ante circunstancias de este tipo, un esquema de ubicación de cables, como se muestra en la figura 1.1.6., podría ser el adecuado.

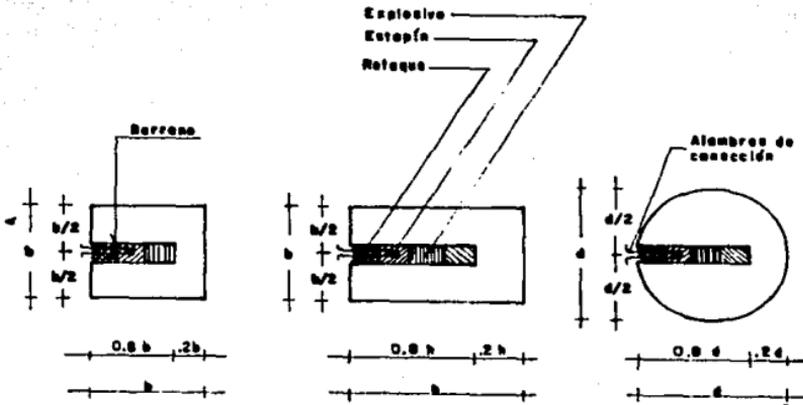


Figura 1.1.5. Explosivos y resaque en una columna.

Para que se logre un buen resultado de fragmentación en los edificios de concreto es indispensable que se eliminen todos los muros de cortante y divisorios en los niveles en donde se coloquen explosivos. Esto es con el fin de que no actúen como puntales y resten velocidad de caída al edificio.

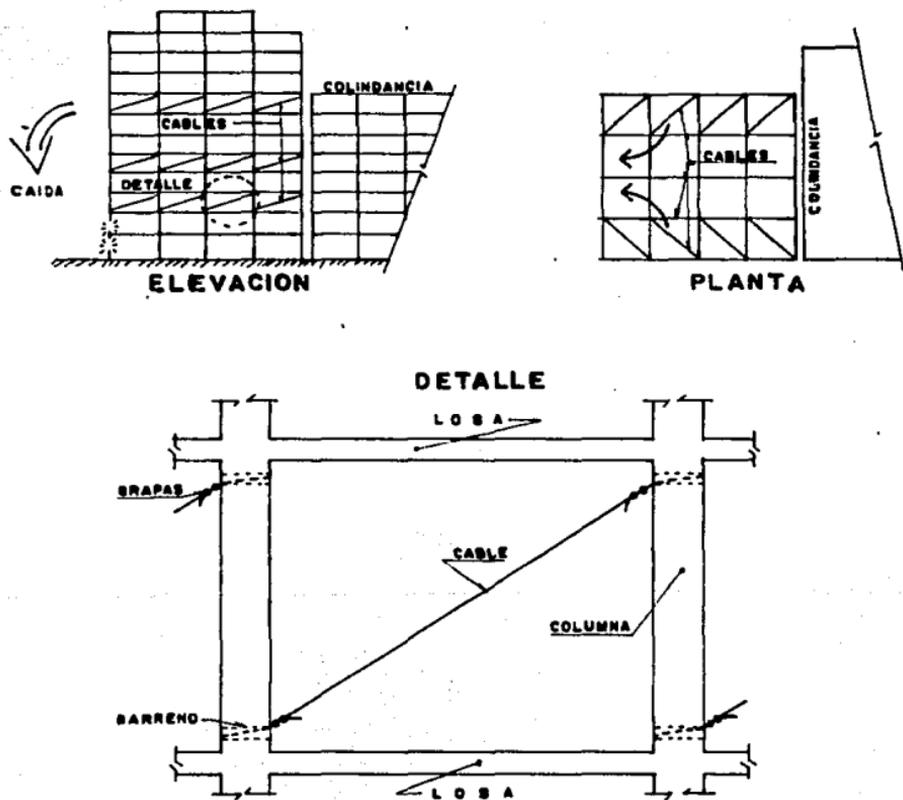


Figura 1.1.6. Ubicación de cables para auxiliar el direccionamiento de la caída.

Normalmente es suficiente con la colocación de explosivos solamente en las columnas. Sin embargo, habrá que considerar el colocar explosivos en las traveses cuyo peralte sea considerable.

Además, será necesario que se coloque un recubrimiento perimetral al edificio, utilizando malla y madera, similar al efectuado en columnas barrenadas, tal como se muestra en la figura 1.1.7. Este recubrimiento se utiliza en la planta baja y en ocasiones en el primer nivel, debido a que es donde se coloca mayor cantidad de explosivos. No hay que subestimar el hecho de que estas demoliciones se podrán presentar en zonas urbanas, por lo que las protecciones habrá que realizarlas con todo cuidado.

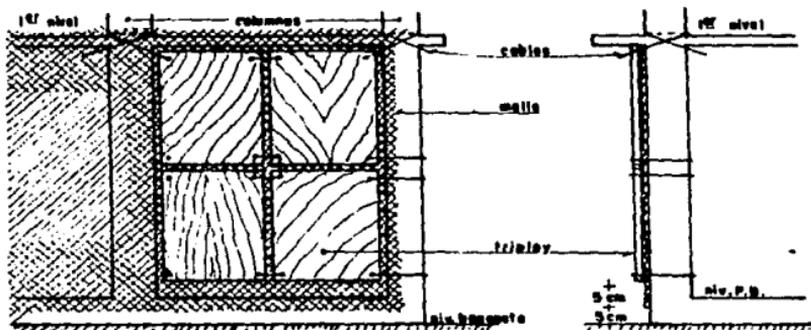


Figura 1.1.7. Protección exterior en la planta baja.

Los retardos utilizados en los estopines, son los que nos determinan la secuencia de detonación de los explosivos. Por lo tanto, son estos tipos de retardos lo que nos condicionan, en primera instancia, la forma de caída del edificio. Las características de este y las res -

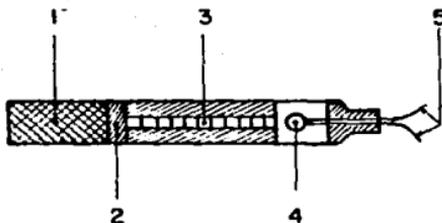
tricciones de colindancias, son las que fundamentalmente nos definen el esquema de posicionamiento de retardos.

Una línea imaginaria que una, en una planta cualquiera, columnas con igual tiempo de retardo, nos estará indicando un plano de falla, que se formará al eliminar simultáneamente los apoyos que están en dicha línea. Es conveniente, para lograr una buena fragmentación, que cuando las condiciones lo permitan, estas líneas queden esviadas con respecto a los ejes de las columnas. De esta manera se generará, con la caída, un cortante diagonal a los marcos que tenderá a romper las trabes.

Una vez que se tenga definida la posición de los retardos, se procede a determinar los esquemas de conexión y la formación de las series. Cada estopín que se coloca en un barreno tiene dos alambres de conexión como se observará en la figura 1.1.8. por tanto, una punta se conecta al barreno superior y otra al inferior. Así a los barrenos superior e inferior de cada columna le sobrará por tanto una punta las cuales se conectan a las columnas vecinas, formándose así una conexión en serie.

Figura 1.1.8. Corte esquemático de un detonador ( estopín ) ordinario de retardo.

- 1.- Carga Explosiva Detonante
- 2.- Carga Cebadora
- 3.- Elemento de Retardo ( carga de ignición )
- 4.- Puente Eléctrico
- 5.- Alambres de Conexión.



ESTOPIN

Debido a que se tienen limitaciones en el número de estopines que se conectan en una serie, es necesario que cada una tenga un número inferior a 60 estopines. Por lo tanto, una vez que se determine el número y la ubicación de los retardos se podrá elaborar el esquema de las series, de tal modo que cada serie tenga aproximadamente la misma cantidad de estopines. Es necesario verificar con un honómetro -- que cada serie tenga la misma lectura; las diferencias que pudieran existir deberán igualarse utilizando resistencias.

A continuación se expone una guía general acerca de los trabajos y puntos a considerar previos a la realización de una demolición con explosivos.

#### INSPECCION DE LA ESTRUCTURA

Realizar una inspección de la estructura por demoler en si misma, -- así como de todos aquellos elementos circundantes a dicha estructura, constituye uno de los puntos críticos para un correcto diseño de volu

dura de la estructura. Una inspección completa por el estudio y relación de la estructura con los elementos circundantes, ya que la estructura dependen estrictamente de estos y viceversa.

Como primer requisito para un correcto diseño de la demolición con explosivos se necesita contar con toda la información sobre plantas y cortes ( elevaciones: ). Esta información también deberá cubrir los siguientes aspectos:

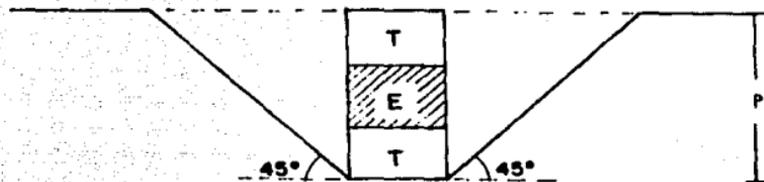
- . Planos Arquitectónicos
- . Planos Estructurales
- . Cambios y Modificaciones realizados.
- . Daños.

Existen algunas estructuras que por su antigüedad no cuentan con algunos de los planos anteriores, e incluso con ninguno, por lo que es indispensable obtener información sobre lo siguiente:

- . Planos y Elevaciones
- . Resistencias de los elementos que componen la estructura
- . Secciones y armados típicos de columnas
- . Cambios y modificaciones en reestructuraciones.

Estos datos se recopilan con objeto de asegurar un colapso controlado. En casos de demolición, será necesario considerar lo siguiente:

- a).- La carga actúa en forma cónica en el medio ( figura 1.1.9 )



E - Explosivo  
 T - Taco  
 P - Profundidad

Figura 1.1.9. Acción de la carga en el medio

b)- La carga se colocará de manera que la expulsión ocasione el menor daño según lo considerado en la figura 1.1.10.

D.- DIRECCION DE COLOCACION  
 DE LA CARGA  
 E.- EXPULSION.

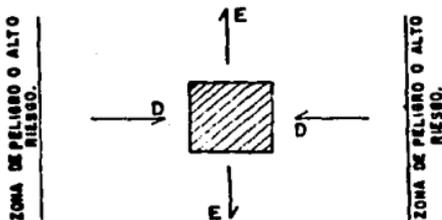


Figura 1.1.10. Colocación y sentido de las cargas.

c)- Es necesario efectuar una prueba de carga para determinar la fragmentación adecuada, seleccionando una columna para ello, según se expone en la figura 1.1.11.

- 1.- OPTIMA  
2.- REGULAR  
3.- MALA

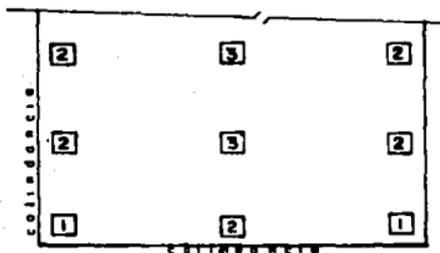


Figura 1.1.11. Selección de columna por probar.

- d)- Se colocarán cargas en las columnas sin interferencia de expulsión ( fig 1.1.12 ).

R: remoción

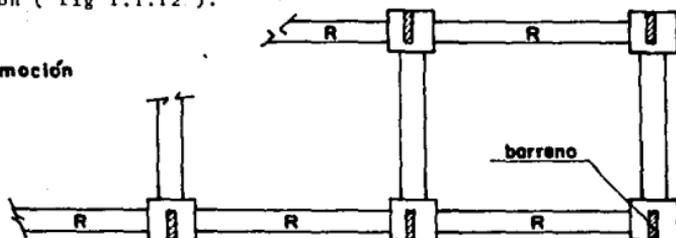


Figura 1.1.12. Remoción de muros para una libre expulsión.

- e)- Se liberará el sótano y planta baja de obstáculos en general para la caída, considerándose tanto muros interiores como exteriores.
- f)- Es conveniente costurear la losa de la planta baja, tal como se muestra en la figura 1.1.13, con un espesor de 20 cms. aproximadamente con el objeto de que al ocurrir el derrumbe esta se rompa por acción del peso y sea el cajón del sótano donde se alojara mayor cantidad de escombros, evitando así una mayor dispersión de material.

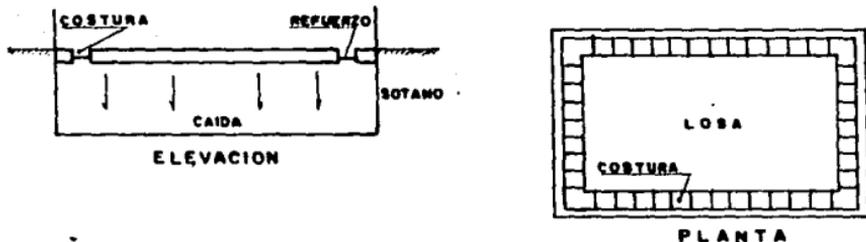


Figura 1.1.13 Costureo de losa en la planta baja

#### UBICACION DE LAS FALLAS O DAÑOS.

Una de las causas por las cuales una estructura debe ser demolida -- ocurre cuando ha fallado y tiene zonas derrumbadas o con daños es -- estructurales considerables. Es importante reflejar estos daños en planos que indiquen la forma como hay que proteger, si es necesario, el trabajo en dichos niveles fallados o con daños importantes.

Cuando el colapso esta por suceder, ha de tomarse en cuenta que los elementos no ligados a la estructura tienen un comportamiento inestable, y puede ocurrir que éstas se deslicen durante el colapso en una dirección opuesta a la de la caída de la estructura, como se muestra en la figura 1.1.14.

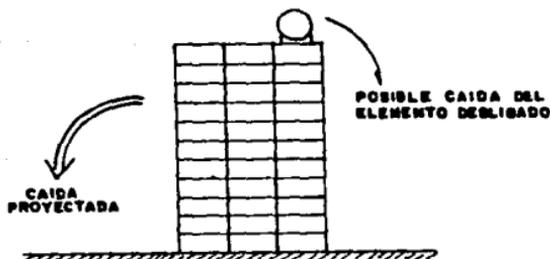


Figura 1.1.14. Acción de elementos no ligados.

### UBICACION DE LA ZONA DEL CUBO DE ESCALERAS Y ELEVADORES.

Es muy importante considerar la ubicación de esta zona, ya que - - - constituye la " medula espinal " de una estructura. Los cubos de escalera por lo general poseen muros de concreto que, de no tratarse, pueden ocasionar que no caiga en sí mismo la estructura y provoque daños a inmuebles y colindancias ( fig. 1.1.15.a). Con mayor razón - deberá de considerarse los cubos para elevadores, ya que, además de los muros, deberán debilitarse los rieles que sostienen las guías de los elevadores ( Fig. 1.1.15-b ).

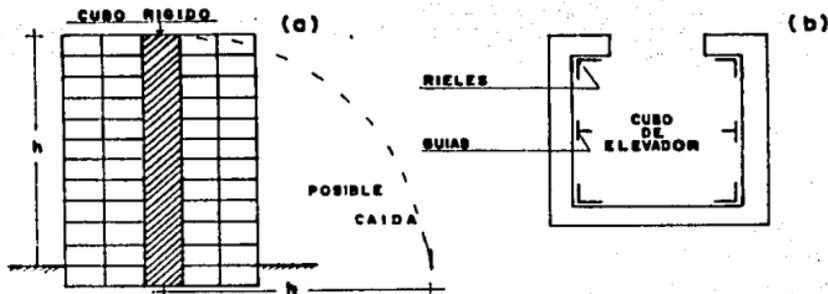


Figura 1.1.15. Efecto de los cubos de escaleras y elevadores.

Los cubos representan una unión de piso a piso, que si no se trata, hará trabajar a los pisos en conjunto. Debe considerarse en " separar " estructuralmente donde el diseño así lo indique.

### UBICACION DE MUROS DE CORTANTE.

Existen estructuras diseñadas para resistir grandes esfuerzos cortantes ( donde la relación de esbeltez es grande ), por consiguiente, estos muros han de tratarse con el mismo principio de los muros del cubo de elevadores. Este tipo de muros también se presenta en estructuras -

reforzadas por algún daño sufrido con anterioridad. Todos estos muros deberán localizarse para su estudio posterior.

#### TIPO DE SOPORTES PRINCIPALES

Los soportes de una estructura son los elementos encargados de transmitir las cargas hasta el suelo; por tanto al hacer fallar estos, se obtiene el desplome mediante la fuerza de gravedad. Dentro de esta inspección es preciso obtener las dimensiones de todos y cada uno de ellos, así como de sus armados, y distinguir la sección más típica de la estructura. Hay que considerar los lugares y niveles donde los soportes cambian de sección transversal. Cuando se presente una sección circular implicará un trabajo especial, pues se emplearán tensores para la dirección del colapso.

#### ACOMODO DE ESCOMBROS

Al desplomarse una estructura en sí misma, esta busca un acomodo natural del volúmen demolido. Así se ha observado que una estructura ocupa una altura de aproximadamente 90 cms. por piso de altura demolida con un ángulo de reposo de  $35^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ , como se muestra en la figura 1.1.16.

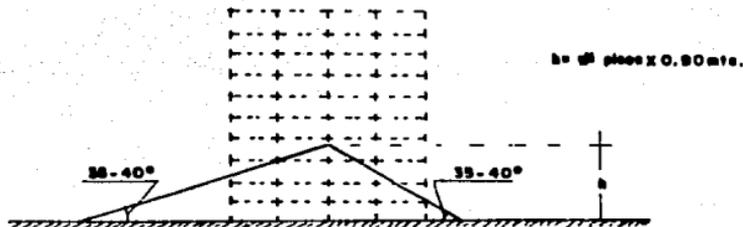


Figura 1.1.16. Acomodo natural de escombros.

### INSPECCION EXTERIOR

Debe considerarse la posibilidad de ubicar en un plano las separaciones con otras estructuras aledañas, para poder conocer los grados de libertad con que cuenta la estructura que se va a demoler.

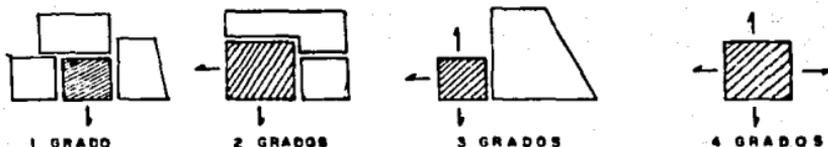


Figura 1.1.17. Posibles grados de libertad en una estructura.

Es necesario cuando mínimo 1 grado de libertad, de preferencia de 2 en adelante, para asegurar que el desplome no ocasione daños. Estas separaciones deben ubicarse acotadas, ya que el diseño interno esta ligado a éstas y a los grados de libertad existentes.

### LIGA CON LINDEROS.

Se pueden dar dos tipos de liga:

1ª En la superestructura

2ª En la subestructura

Si en la superestructura hay algún tipo de unión con otra edificación, esta deberá desligarse por completo para evitar que en el desplome se produzca el "jalón" de la estructura unida. Si existe alguna unión en la subestructura, no es estrictamente necesaria su separación física, pero habrá que considerarse en el diseño, debido a la transmisión de ondas por el subsuelo que en un momento dado podría provocar deformaciones importantes en las estructuras aledañas.

### UBICACION DE ESTRUCTURAS DE 10 A 50 MTS. DE LA ZONA DE DEMOLICION

La finalidad de conocer cómo se encuentran las estructuras en este radio de distancia es el de buscar la forma de protegerlas de posibles fragmentos ( que no se pueden controlar en un 100% ) que salgan de la estructura y ocasionen daños menores. Las protecciones típicas en estos casos es la colocación de lonas, mamparas, cortinas de plástico, etc. Es de suma importancia, momentos previos a la detonación, la total evacuación de personas hasta un radio no menor de 150 m. a fin de evitar posibles accidentes.

### LINEAS DE CONDUCCION

Este punto se refiere a todas aquellas líneas exteriores, tales como líneas de energía eléctrica, telefónica, etc; igualmente, se considerará el retirar dichas líneas a solo tenerlas presentes en el diseño. De igual modo se deberán localizar las obras subterráneas tales como líneas del metro, agua potable, drenaje, gas, etc; a fin de evitar daños a estas. Usualmente se colocan taludes en el perímetro de caída estos pueden ser de escombros, tierra vegetal, tepetate, ó material a fin, sin compactar ya que se trata de que reciban el impacto y lo amortiguen.

### VIALIDAD.

Por la elección de caída, en función de la estructura y los grados de libertad, el volúmen de escombros puede llegar a ocupar alguna vialidad mientras se resaga dicho material, por lo que se le debe dar prioridad a estos volúmenes. Dichas vialidades han de considerarse antes de la detonación. Se deberá establecer vialidades alternativas para la circulación mientras este acordonada la zona de desalojo.

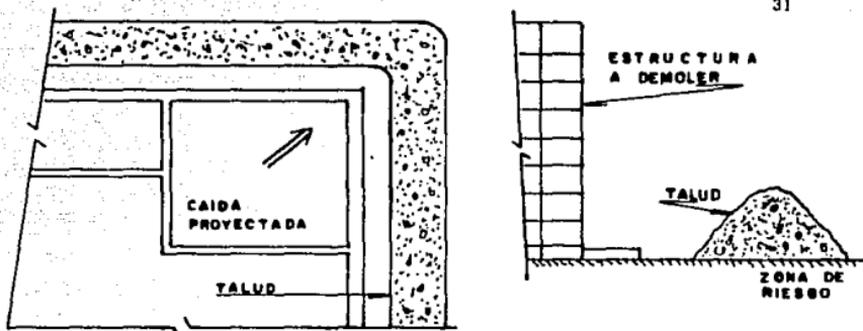


Figura 1.1.18. Taludes de protección

#### UBICACION DE SISMOGRAFOS.

Deberán ubicarse por lo menos 4 sismógrafos para el registro de los movimientos producidos por el desplome. Estos registros se analizan posteriormente, ya que aportan datos para correcciones de diseño.

#### PUESTO DE CONTROL

Dentro de la inspección exterior, un último paso es localizar el puesto adecuado donde se colocará la máquina explosora; que deberá por seguridad estar ubicada por lo menos a 150 m de distancia de la estructura a demoler. Asimismo, desde dicho puesto se ordenará el encendido de los sismógrafos vía radio antes de la detonación y se dará el conteo final.

#### CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA

##### EFFECTO DEL EXPLOSIVO EN EL MEDIO

Para un correcto dimensionamiento de las cargas, se debe tomar en cuenta que la carga detonante actúa en el medio circundante en dos fases. Explicándolo de manera más sencilla, se puede decir que la -

primera fase del efecto de choque de la explosión produce en el material un esfuerzo por la onda ( una presión ) con una presión inicial del orden de  $10^5$  a  $10^6$  Kg/cm<sup>2</sup>, lo que en un medio cerrado ocasiona que dicha carga excede la resistencia a la comprensión del material; debido a que la energía de onda disminuye rápidamente en la distancia con respecto al lugar de colocación de la carga ésta pronto pierde su efecto de comprensión en el material, por lo que sólo el esfuerzo cortante y el esfuerzo de tensión tienen efecto. En una onda de choque, las ondas de esfuerzo son reflejadas y regresan en forma de ondas de tensión; si esta energía ( dependiendo del tamaño de la carga ) es suficiente, para sobrepasar la resistencia a la -- tensión del material, ocurrirá una desintegración del material. En la segunda fase, la presión de los gases de los explosivos ( del orden de  $10^4$  Kg/cm<sup>2</sup> ) empuja el material hacia afuera del cráter y origina una segunda desintegración del material.

#### DISEÑO DE PREPARACION DE ESTRUCTURAS.

Las cargas se colocan de tal manera que su efecto produzca una variación en la estabilidad de la estructura; "mutilando" los elementos individuales de la misma, ya que una destrucción total de todos los elementos que constituyen la estructura resultaría demasiado peligrosa, primero por la gran cantidad de concreto y acero que saldría expulsada por la gran explosión y segundo, por la gran presión y estruendo que producirán las ondas explosivas. Es práctico y recomendable emplear explosivos solamente para lograr la desintegración y expulsión de elementos críticos cuya falla produzca un desplome general de la estructura. Se procura que una vez derrumbada la estructura, se efectúen cortes secundarios, ya sea por explosivos o con rompedoras, para dividir los fragmentos en secciones más pequeñas que se puedan cargar y transportar fuera del sitio de demolición siempre y cuando no se logre la fragmentación deseada.

La ubicación del corte y la posición de las cargas empleadas en la destrucción de concreto reforzado siempre requerirá de lo siguiente:

- . Un examen ó análisis estático ( del lugar donde la estructura se encuentra cargada únicamente por peso propio).
- . Decidir cuales elementos será necesario destruir por completo o parcialmente.
- . Debilitar la sección transversal a lo largo del eje neutro donde se colocarán las cargas.
- . Exposición e interrupción del acero de refuerzo de la columna en el lugar donde la tensión pudiera presentarse durante el derrumbe.

Con base en la experiencia de la demolición de edificios, se han logrado obtener recomendaciones prácticas de diseño en los siguientes aspectos:

- 1.- Número de barrenos por columna y nivel
- 2.- Muros de cortante y relleno
- 3.- Cubos de escalera y elevadores

Sin ser una regla general, estas recomendaciones permiten tener un conocimiento aproximado de diseño, que no es el óptimo, ya que cada edificio es un caso único.

- 1.- Número de barrenos por columna y nivel

Los niveles que se van a trabajar con barrenos varía de cuatro a seis en estructuras de cinco a catorce niveles, ya que para estructuras mayores de catorce niveles presuponen un diseño más minucioso. En cuanto al número de barrenos por columna y por nivel, en general se puede considerar lo siguiente:

<u>NIVEL.</u>	<u># BARRENOS /COLUMNA</u>
Sótano	3
Planta Baja	4
Primer Nivel	3
Niveles superiores	2

Aunque dichos barrenos dependerán del cálculo y capacidad de los mismos. En cuanto a la dirección de los barrenos, esta será hacia el centro de la columna. Si se encuentra acero de refuerzo, se barrenará a un lado de la varilla, compensando la profundidad y dirigiendo los barrenos hacia el centro.

## 2.- Muros de cortante y relleno.

El principio de remover los muros de cortante y de relleno en aquellos niveles donde se coloca la carga, principalmente los de cortante en cualquier dirección y los de relleno en la dirección de caída, radica en el hecho de tener un movimiento inicial libre y en que, durante el colapso, no haya elementos de retención para la caída continua de la estructura.

## 3.- Cubos de escaleras y elevadores.

En aquellos niveles en donde se coloquen cargas, los muros del cubo de elevadores se deberán tratar de dos formas:

. Diseñando barrenos profundos, trabajando los muros como columnas para su detonación en la implosión, según lo mostrado en la figura

1.1.19.

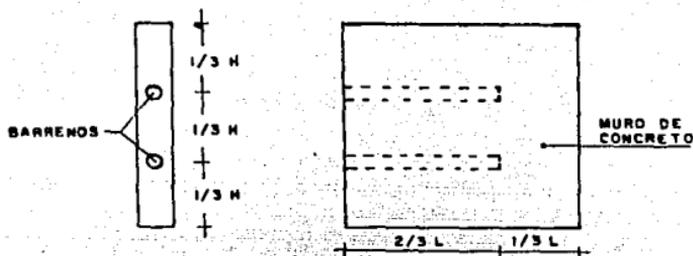


Figura 1.1.19. Barrenos profundos en muros de concreto.

. Seccionando previamente los muros cuando no sean posibles colocar los barrenos del punto anterior.

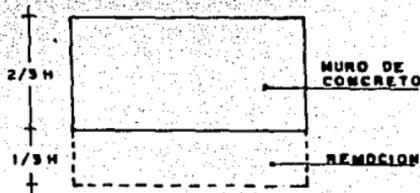


Figura 1.1.20. Seccionamiento de muros de concreto.

### DISEÑO DE TIEMPOS.

Los tiempos de retardo se usan para el colapso controlado en la demolición de estructuras. Con una apropiada selección de tiempos, se pueden obtener las siguientes ventajas:

- . Lograr Dirección de caída
- . Fragmentación adecuada
- . Seguridad en la caída
- . Dispersión controlada de escombros

De manera general podemos decir que existen algunos principios básicos en la determinación de los tiempos de retardo, los cuales se mencionan a continuación:

a).- Utilización de tiempos de retardo de 500 milisegundos entre -- períodos. En la demolición de estructuras, estos tiempos de retardo -- tienen dos funciones:

- . Obtener una secuencia de falla, permitiendo continuidad en la caída.

- . Evitar distorsiones excesivas de la estructura y por consiguiente una caída no controlada.

b).- Empleo en el diseño de tiempos de período de retardo menores -- que 13 milisegundos. Con el empleo de estos períodos de retardo se -- logra utilizar productos nacionales y se evita que los períodos de -- retardo mayores de 14 milisegundos provoquen poca estabilidad estructural.

#### INDUCCION DEL MOVIMIENTO INICIAL

La estructura que se va a demoler necesita tener una masa en movimiento suficiente ( aproximadamente 1/8 del área en planta), para -- que la fuerza de gravedad trabaje en el resto de la estructura manteniendo el colapso en forma continua.

#### INDUCCION GENERAL DEL COLAPSO.

Si se logra remover una sección mayor en un extremo dado de la estructura será en éste extremo hacia donde se moverá la estructura de que se trata, tal como se muestra en la figura 2,1,21.

#### TIEMPOS EN SOTANOS.

El sótano, siendo el lugar donde se concentrará parte del escombro, -- también debe, por unos instantes, mantener su estabilidad durante el movimiento inicial de la estructura; para ello se necesita desfazar los tiempos de los soportes de los sótanos a razón de 500 milisegundos.

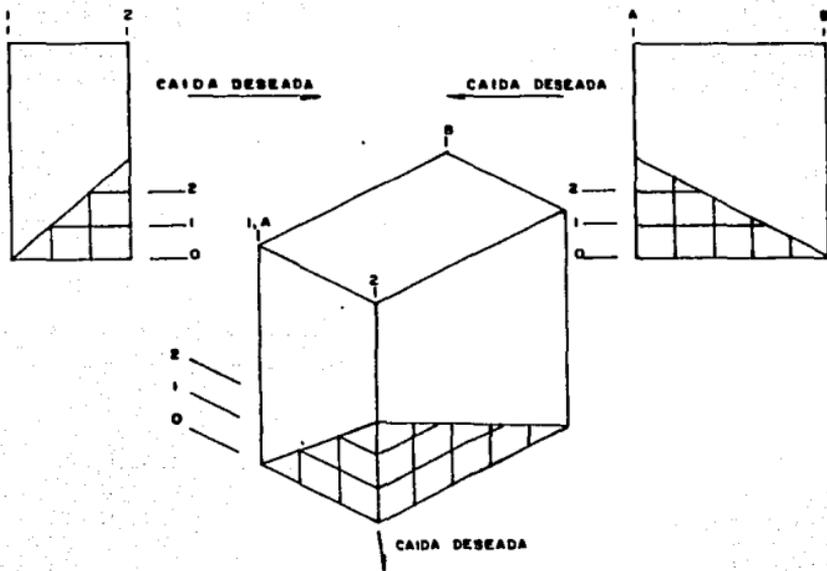


Figura 1.1.21. Inducción general del colapso.

#### TIEMPOS INFERIORES EN NIVELES INFERIORES.

Si consideramos los tiempos de los soportes de una determinada intersección de ejes, estos serán cada vez menores hasta llegar a la planta baja ( el sótano tiene el tratamiento del punto anterior), - como se observará en la figura 1.1.22.

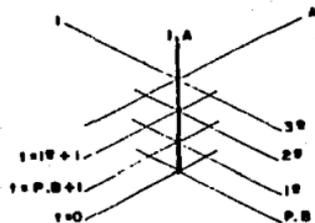


Figura 1.1.22. Distribución de tiempos con la altura.

DISCONTINUIDAD.

Se puede obtener una mayor fragmentación si se colocan líneas de -- tiempos en direcciones no colineales con los ejes de la estructura -- que se va a demoler.

MUROS DE ELEVADORES

En los muros de los elevadores se asignará un tiempo menor de un mi -- nimo de 500 milisegundos al de las columnas adyacentes, siempre y -- cuando se haya efectuado barrenación en estos muros.

AMORTIGUAMIENTO.

Un desfaseamiento de un tiempo en la misma dirección de tiempos logra una menor dispersión del material en caída y por consiguiente, un -- amortiguamiento, como se ilustra en la figura 1.1.23.



Figura 1.1.23. Desfasamiento de tiempos.

1.2.- EXPLOSIVOS.

No es indispensable que el responsable de las demoliciones tenga un conocimiento profundo sobre la química, física, características, -- etcetera de los explosivos, sin embargo, una breve revisión sobre -- estos temas puede ayudar a entender mejor cómo se desarrolle la ener -- gía necesaria para romper los diferentes materiales donde los explo -- sivos se aplican.

1.2.1.- QUIMICA Y FISICA DE LOS EXPLOSIVOS.

Un explosivo es un compuesto químico o mezcla de compuestos que sufre

una descomposición muy rápida cuando es iniciado por diferentes energías tales como calor, impacto o fricción. Esta descomposición produce sustancias más estables, la mayoría de ellas, gases y una gran cantidad de calor; Los gases extremadamente calientes producen altas presiones dentro de los barrenos ocasionando el fracturamiento de la roca.

Los principales ingredientes que reaccionan en un explosivo son combustibles y oxidantes. Como ejemplo de combustibles comunes en explosivos comerciales tenemos a los aceites, carbón, aluminio, trinitrotolueno ( TNT ), pólvoras sin humo, nitrato de monometilamina, etc. Algunos combustibles juegan también el papel de sensibilizadores, tales como la nitroglicerina ( NG ), nitrocelulosa, al igual que algunos de los anteriores. Microbalones y burbujas de vidrio se agregan en ocasiones para aumentar la sensibilidad. El oxidante más común es el nitrato de amonio, sin embargo, también se usan de sodio y de calcio. Otros ingredientes usados en la fabricación de explosivos son el agua, gelatinizadores, antiácidos, estabilizadores, tales como, la nitroglicerina, TNT, pentacritritetranitrato ( PETN ); el combustible y oxidante están combinados en el mismo compuesto.

Los principales elementos en un compuesto explosivo son: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y carbón, adicionalmente elementos metálicos como el aluminio es usado algunas veces.

En explosivos mezclados, la liberación de energía óptima se logra con un balance de oxígeno cero; esto se define como el punto con el cual un explosivo mezclado contiene suficiente oxígeno para oxidar completamente todos los combustibles, pero no en un exceso de oxígeno que pueda reaccionar con el nitrógeno de la mezcla para formar óxidos de nitrógeno.

Teóricamente, cuando se tiene un balance de oxígeno cero los productos gaseosos de la detonación son agua ( $H_2O$ ), bióxido de carbono ( $CO_2$ ) y nitrógeno ( $N_2$ ); sin embargo en la realidad se producen pequeñas cantidades de gases nitrosos ( $NO$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ) y otros gases venenosos.

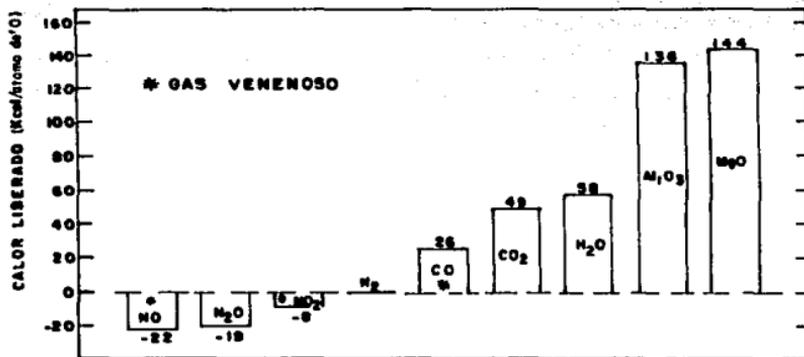


Figura 1.2.1.1. Energía liberada por los productos más comunes en una detonación.

En la figura 1.2.1.1. se muestra la energía liberada por los productos más comunes en una detonación. Se puede observar que una oxidación parcial del carbón produce monóxido de carbono, resultado de una deficiencia de oxígeno, libera menos calor que el de una oxidación completa para producir bióxido de carbono. Los óxidos de nitrógeno que son producidos por un exceso de oxígeno son "Depresores de calor", esto es, ellos absorben calor cuando se generan. En la formación de nitrógeno como elemento no se tiene ni ganancia ni pérdida de calor.

Se puede apreciar que los gases resultantes de un mal balance de oxígeno no solo son ineficientes en términos de la energía liberada - -

sino también en la creación de gases venenosos.

No obstante que la oxidación de aluminio produce sólidos más que gases, produce una gran liberación de calor aumentando en gran forma la energía del explosivo al que se adiciona. El magnesio proporciona una cantidad superior de calor; sin embargo, su alta sensibilidad es un inconveniente en los explosivos industriales.

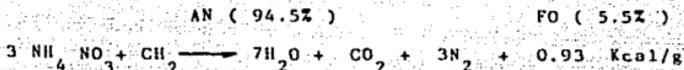
Como regla general, los componentes de un explosivo deben dar un balance de oxígeno correcto. Esto significa que durante la reacción todo el oxígeno disponible en la mezcla reaccione solamente para formar vapor de agua ( $H_2O$ ) y que con el carbón reaccione para formar únicamente dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en forma de gas y el nitrógeno quede libre formando solo gas nitrógeno ( $N$ ). Ahora bien, cuando hay otros elementos además de los cuatro básicos, por ejemplo sodio, deberá incluirse suficiente oxígeno adicional para lograr una combinación balanceada.

Cuando hay exceso de oxígeno disponible se producen gases altamente venenosos como los gases nitrosos  $NO$  y  $NO_2$ , éstos gases son fácilmente detectables por su olor y color café rojizo. Por otro lado, si estamos en deficiencia de oxígeno se forma el mortal gas monóxido de carbono ( $CO$ ) el cual desafortunadamente no es detectable por olor ni color.

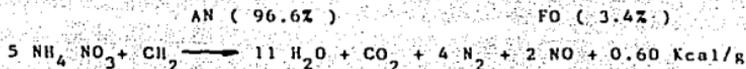
Además de la formación de gases venenosos por exceso o falta de oxígeno se produce una disminución de temperatura con una consecuente reducción en la presión de los gases producidos.

Para ilustrar los efectos del balance de oxígeno en el nitrato de amonio-acetileno combustible (ANFO) como agente explosivo tenemos lo siguiente:

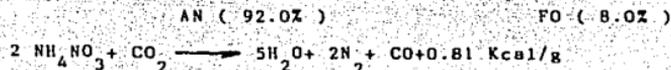
## 1.- Oxígeno balanceado



## 2.- Oxígeno en exceso ( positivo )



## 3.- Oxígeno deficiente ( negativo )



La ecuación ( 1 ) representa una reacción con balance de oxígeno cero. Ninguno de los gases producidos son venenosos y se producen 0.93 Kcal por cada gramo de ANFO.

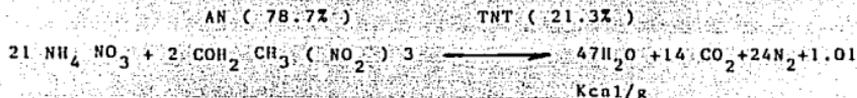
En la ecuación ( 2 ), la mezcla 96.6% de AN y 3.4% de aceite combustible ocasiona por la falta de este último condiciones de exceso de oxígeno. Parte del nitrógeno contenido en el nitrato de amonio se combina con el exceso de oxígeno para formar  $\text{NO}_2$  que es altamente tóxico. El calor absorbido por la formación de NO ocasiona que en esta reacción únicamente se produzcan 0.60 Kcal por cada gramo de ANFO. También el CO producido con este tipo de mezclas es menos tóxico que los NO y  $\text{NO}_2$ , por ésta razón es preferible una mezcla con alguna pequeña deficiencia en oxígeno y por eso en el campo, la fórmula tradicional es de 94% de AN y 6% de FO.

No obstante que la mezcla de ANFO es la óptima en cuanto a energía liberada por unidad de costos, productos con mayor energía y densidad en ocasiones son buscados por algunos usuarios. Los aditivos más comunes para producir una mayor energía tanto en agentes explosivos secos, como en otro tipo de explosivos son dos: explosivos como el -

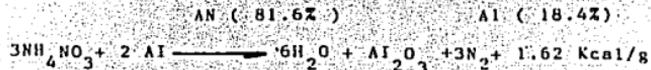
TNT y metales, tales como el aluminio.

Las ecuaciones siguientes ilustran la reacción del TNT y aluminio - mezclados con NA. Estas ecuaciones suponen una reacción ideal, la - cual nunca sucede en el campo. En la práctica el aluminio se mezcla con algún aceite combustible.

#### 4.- Con TNT



#### 5.- Con aluminio



Las reacciones anteriores liberan más energía por peso que el ANFO y tienen también el beneficio de una mayor densidad. Estas ventajas deben compararse con el alto costo de los aditivos. La energía de los productos aluminizados continúa incrementandose a medida que se aumenta la cantidad de metal, igualmente este exceso de combustible -- causa una deficiencia de oxígeno.

#### 1.2.2.- COMPOSICION

Esta es tan variada tanto como la diversidad de explosivos existentes, por lo que a continuación se presenta una tabla enlistando los principales ingredientes en la elaboración de un explosivo, así como sus principales funciones, tratando con ello de dar una idea general de los efectos de un explosivo, conociendo su composición.

I N G R E D I E N T E	FORMULA	FUNCION
Nitro <sup>3</sup> licerina (NG)	$C_3H_3(NO_3)_5$	Explosivo Ba se
Trinitrotolueno (TNT)	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$	"
Dinitrotolueno ( DNT )	$C_7H_2O_4H_6$	"
Glicol de etileno dintrado (EGDN)	$C_2H_4(NO_3)_2$	" , anti congelante
Nitrocelulosa	$C_6H_7(NO_3)_3O_2$	" gelati lizante
Nitrato de amonio (NA)	$NH_4NO_3$	Idem + Oxidan te
Clorato de potasio	$KClO_3$	" " " "
Nitrato de sodio (SN)	$NaNO_3$	Oxidante, re- duce la conge lacion.
Nitrato de potasio (NP)	$KNO_3$	Oxidante
Pulpa de madera	$C_6H_{10}O_5$	Absorbente.- Combustible
Aceite combustible	$CH_2$	Combustible
Parafina	$CH_2$	"
Aceite para lámpara	C	"
Gis	$CaCO_3$	Antiácido-- estabilizador.
Oxido de zinc	ZnO	Idem
Alumino (metal)	Al	Catalizador
Magnesio (metal)	Mg	"
Kieselgur	$SiO_2$	Absorbente
Oxígeno líquido	$O_2$	Oxidante

INGREDIENTE	FORMULA	FUNCION
Azúfre	S	Combustible
Sal	NaCl	Anti-inflamante
Compuestos nitrosos organ.		Explósivo $R_0$ se. <u>sensibiliz</u> ador

Tabla 1.2.2.1=Ingredientes usados en los explosivos.

### 1.2.3.-CLASIFICACION

Por su potencia los explosivos se clasifican en:

EXPLOSIVOS PRIMARIOS.- Son aquellos que por su elevada potencia y sensibilidad se utilizan exclusivamente como cebos o iniciadores de grandes cargas de explosivos. No pueden ser empleados como "explosivos de trabajo" debido a los riesgos que implica su manejo y transporte en grandes cantidades.

EXPLOSIVOS SECUNDARIOS.- El nombre se aplica a los del tipo comercial estandar comúnmente empleados en gran escala en trabajos de voladura o tronadas de roca, los que a su vez son iniciados por un cebo, constituido por algun explosivo primario.

Por su composición los explosivos se clasifican en los grupos siguientes:

EXPLOSIVOS SIMPLES.- Son lo que están constituidos exclusivamente por un solo compuesto químico homogéneo. El calor de la explosión se libera por una reacción química exotérmica, en el que se rompe el arreglo y estructura de las moléculas originales, recombinandose los átomos constituyentes para formar los productos residuales de la explosión, como agua, nitrógeno, etc. A este grupo pertenecen los explosivos de tonantes propiamente dichos, tales como la nitroglicerina, nitroglícol, nitrocelulosa.

EXPLOSIVOS MEZCLADOS.- Están formados por una mezcla muy íntima y homogénea, realizada por procedimientos mecánicos, de diversos reactivos químicos, caracterizados unos por ceder oxígeno y otros por consumirlos durante la reacción, pero que en sí mismos no son explosivos cuando se encuentran aislados. A este grupo de reactivos pertenecen la mayoría de los compuestos orgánicos, pólvoras metálicas, nitratos inorgánicos, cloratos y percloratos. El reactivo más importante por su extendido y creciente empleo es el nitrato de amonio.

EXPLOSIVOS COMPUESTOS.- Estos explosivos están formados por la mezcla mecánica de explosivos simples y reactivos químicos que durante la reacción toman unos y ceden oxígeno los otros. Las dinamitas con nitrato de amonio ( dinamitas amoniacaes ) son un ejemplo clásico de los mismos. La gran mayoría de los explosivos comerciales utilizados en los trabajos de voladuras, pertenecen a este grupo y tienen la gran ventaja de ser económicos. Variando su composición se puede hacer por ejemplo, más seguro, de mayor resistencia a la humedad, más barato, etc.

La consistencia o tipo de presentación de un explosivo es uno de los factores que en forma muy apreciable afectan a la economía de su empleo, debido a su influencia en la capacidad y densidad de carga de los barrenos. Por su consistencia, los explosivos se clasifican como sigue:

EXPLOSIVOS PLASTICOS O SEMIPLASTICOS.- La consistencia de estos explosivos es tal que el producto puede adaptarse a la forma del barrenno, llenando su sección, aplicando para ello una presión moderada ( ATACADO). La diferencia entre las formas plásticas y semiplásticas depende primariamente del equipo empleado para la fabricación de los cartuchos.

A este tipo de explosivos pertenecen, en general, los explosivos comercialmente conocidos como " gelatinas ", formados disolviendo al godón-pólvora en nitroglicerina, que son los más resistentes al agua.

EXPLOSIVOS SOLIDOS.- Estos se presentan en forma de cartuchos que en su interior contienen el explosivo, o como material granular empaquetado en bolsas; la desventaja de estos tipos de explosivos radica en que la densidad de carga resulta menor a igualdad de circunstancias, lo cual implica una elevación de costos de barrenación, puesto que -

se requerirá de mayor volúmen para alojar una carga determinada, aun que por lo general los cartuchos se rompen al ser atacados, llenando la sección del barrenado, pero con la desventaja de que se reduce su -- resistencia a la humedad.

#### 1.2.4.- TIPOS DE EXPLOSIVOS.

En este punto veremos la mayoría de los productos explosivos que se utilizan en los trabajos de fracturación en roca. Los principales productos utilizados en voladuras industriales se pueden dividir en tres grupos: productos a base de nitroglicerina, conocidos como altos explosivos, agentes explosivos secos y explosivos a base de agua (Hidrogeles y emulsiones), estos últimos pueden clasificarse como explosivos o como agentes explosivos.

Para evitar confusiones, el término de explosivos lo usamos para los tres tipos, pero antes mencionaremos cuáles son las diferencias entre un alto explosivo y un agente explosivo.

Un alto explosivo o detonante es cualquier producto que se usa en voladuras, sensible a un iniciador # 8 y su velocidad de reacción es -- más rápida que la velocidad del sonido en el medio explosivo. Un explosivo bajo ó deflagrante es un producto cuya reacción es inferior a la velocidad del sonido en el medio explosivo. Un agente explosivo es aquel que no puede ser detonado por un iniciador # 8.

#### .DINANITAS DE NITROGLICERINA.

Las cuales tienen como único explosivo constituyente la nitroglicerina. Estos explosivos están caracterizados por su alta velocidad, que imparte una acción rápida y fracturadora, especialmente en las potencias muy altas. Producen abundantes gases, lo que las hace poco aptas

para ser empleadas en trabajos poco ventilados. Su empleo es muy limitado debido a su elevado costo, así como a su sensibilidad a los golpes y fricciones y a su gran inflamabilidad. Muy resistentes al agua.

DINAMITAS AMONIACALES, en las que parte de la nitroglicerina se reemplaza por nitrato de amonio en cantidad suficiente para mantener el grado de fuerza o potencia nominal del explosivo. Son explosivos con menor velocidad de detonación, así como menor resistencia al agua, sensibilidad de propagación media, con mejor efecto de levantamiento. Resultan adecuadas para trabajos en húmedo, solamente si los cartuchos se cargan intactos y se hacen estallar pronto.

Quizá este sea el tipo de explosivos mejor conocido y más popularizado en los trabajos de explotación de canteras, excavaciones a cielo abierto y en general en materiales de dureza media donde no existe agua o abundante humedad.

GELATINAS, fabricadas a base de nitroglicerina o algodón-pólvora, cuya consistencia varía desde la de un líquido grueso y viscoso hasta una sustancia dura como el hule. Este producto es insoluble en el agua y tiende a impermeabilizar a los otros materiales que cubre o cierra. Por lo general estos explosivos son densos, plásticos y prácticamente impermeables.

Producen muy poca cantidad de gases, entre los grados de 20% a 60% de potencia, pero bastante más en los grados mayores. Cuando se cargan bien confinados, lo cuál es muy fácil gracias a su plasticidad, desarrollan una muy alta velocidad de detonación y por consiguiente tienen un efecto rápido y fracturador.

. DINAMITAS GRANULARES, están formadas por nitroglicerinas y nitrato de amonio entrando este último en mayor proporción que en las dinamis amoniacales. Este tipo de explosivos se fabrican especialmente para cargar barrenos secanteados y aquellos irregulares donde no es posible introducir cartuchos. Tienen poca resistencia al agua y generan gran cantidad de gases. Las dinamitas granulares generalmente -- son iniciadas por medio de un cebo formado por un explosivo del tipo dinamita que tenga cuando menos un 40% de potencia.

. NITRATO DE AMONIO LIBRE DE NITROGLICERINA. La mezcla de nitrato de amonio del tipo fertilizante con polvo de carbón o con aceite mineral ( petróleo ), cuando es iniciada por medio de un explosivo altamente detonante ( dinamita ) se comporta como agente explosivo. Este tipo de explosivo requiere de un iniciador muy potente, su calor de explosión es reducido, su densidad es baja y la generación de gases depende fundamentalmente de que el balance de oxígeno sea adecuado.

. AGENTES EXPLOSIVOS SECOS. Son aquellos explosivos en donde no interviene el agua en su formación y que no pueden ser iniciados por un fulminante # 8. Al principio se utilizó carbón y aceites combustibles combinados con nitrato de amonio en varias proporciones. A través de la experiencia se ha demostrado que el diesel mezclado con nitrato de amonio poroso proporciona los mejores resultados, de aquí que el término ANFO ( ammonium nitrate fuel oil ) sea sinónimo con agente explosivo seco. La gravedad específica más común para el ANFO varía entre 0.80 y 0.85, sin embargo, hay algunos que alcanzan hasta 1.15. El aumento de densidad es necesario para permitir a los cartuchos su inmersión en el agua, para lograrlo, parte de los granos de nitrato de amonio se pulverizan, o bien, agregarle ferrusillo

aunque esto se hace rara vez ya que ésto casi no agrega energía a la detonación. La sensibilidad a la iniciación del ANFO decrece con la densidad, no se recomienda trabajar con un ANFO con densidad mayor de 1.25 g/carga de columna.

La velocidad de detonación del ANFO es grandemente afectado por el diámetro crítico el cercano a una pulgada con una mezcla de nitrato de amonio.

El agua es el principal enemigo de los agentes explosivos secos, y que al atacarlos produce voladura de muy baja calidad. Un exceso de agua afecta la velocidad del producto, su sensibilidad a la iniciación, la producción de gases y a la producción de energía. Es importante cuando se use ANFO en barrenos con agua, protegerlo con un empaque o con una manga continua de polietileno en todo el barreno. En la figura 1.2.4.1 se da una descripción general de los agentes explosivos secos usados en la actualidad.

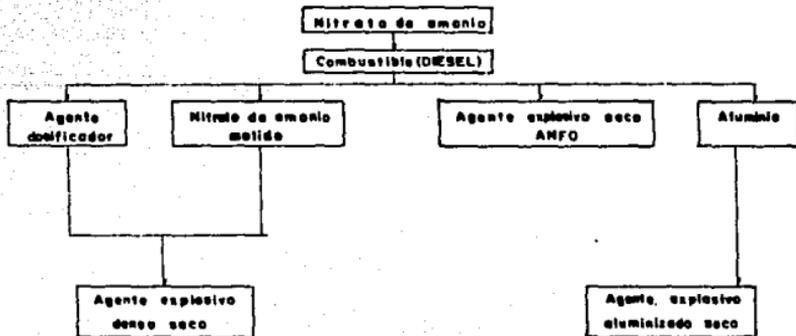


Figura 1.2.4.1 Tipos de agentes explosivos secos y sus ingredientes.

## HIDROGELES

Los hidrogeles son los explosivos más recientemente desarrollados y actualmente los más utilizados, ya que además de efectuar el mismo trabajo que las dinamitas, éste se realiza con menor riesgo y sin las molestias ocasionadas por la nitroglicerina. Los hidrogeles consisten en una mezcla de nitrato de amonio y de sodio, un sensibilizador explosivo o no explosivo, un gelatinizador y cantidades variables de agua. Contienen alta proporción de nitrato de amonio parte del cual está en solución acuosa.

Los agentes explosivos contienen ingredientes no sensibilizadores como aceite, combustible, carbón, azufre o aluminio y no constituyen cápsulas sensitivas, mientras que los explosivos hidrogeles si contienen ingredientes como TNT que lo transforman en cápsulas sensitivas. Las mezclas de nitrato de amonio y los aceites o los sensibilizadores se espesan o gelatifican con gomas para proporcionar resistencia al agua. Son muy seguros y no detonan aún barrenando sobre ellos, lo cual no sucede con las gelatinas.

Los hidrogeles son similares en muchos casos a los agentes explosivos secos, pero además resisten al agua y tienen una mayor densidad, un buen balance de oxígeno y un excelente acoplamiento al barreno. Al igual que los secos, los agentes explosivos húmedos tienden a perder sensibilidad a la iniciación cuando su densidad aumenta.

Pueden ser adquiridos en ingredientes separados para mezclarse y usarse en el lugar de trabajo, a granel para bombearse al barreno,

en bolsas, en cartuchos o salchichas. Su consistencia varía desde el de una pasta hasta el de una gelatina.

El cordón detonante usado en presencia de agentes explosivos puede tener un efecto nocivo, por lo que es muy importante el diámetro del barreno y la potencia del cordón. En la figura 1.2.4.2 se presenta un resumen general de la composición de los hidrogeles.

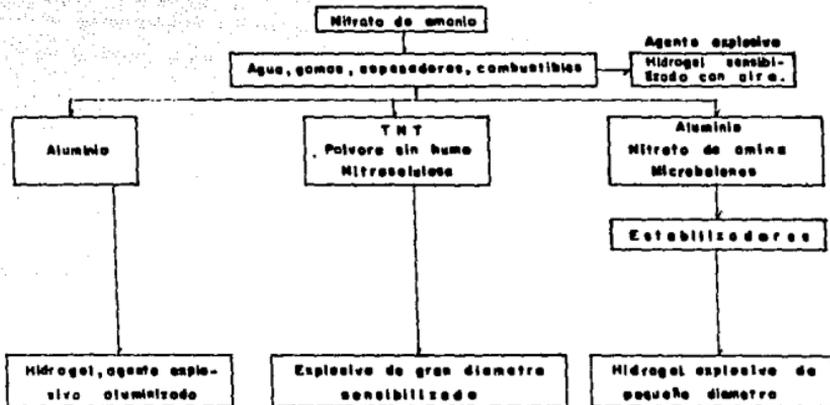


Figura 1.2.4.2 Formulaciones básicas de los hidrogeles.

#### 1.2.5.- PROPIEDADES.

Los explosivos y los agentes explosivos se caracterizan por varias propiedades que determinan cómo realizarán su función en el campo, siendo también estas propiedades las que determinan la conveniencia o inconveniencia de un explosivo. Entre las propiedades más importantes se destacan las siguientes:

. EFECTO DE ESTALLIDO: este está influenciado por complejos factores, como son la generación de calor de la explosión, el volumen de gases liberados y la presión y temperatura de los gases que tienen influencia decisiva sobre la fragmentación sobre la roca, y la velocidad de propagación de la detonación que tiene importancia en el efecto del impacto. Para fines experimentales, el efecto de fragmentación de los explosivos es medido por medio de ensayos estándar efectuados en morteros especiales; a su vez el efecto de compresión es medido por medio de una prueba de impacto estándar.

. CALOR DE LA EXPLOSION. Teóricamente, al realizarse la explosión - - ocurre una reacción química exotérmica que genera una gran cantidad - de calor igual a la teórica potencial. Esto en la práctica nunca ocurre, puesto que la transformación siempre es incompleta por razones - - diversas, entre la que es de interés considerar el rápido enfriamiento de los gases producto de la tronada, como cuando se realizan trabajos en rocas suaves, en las que el enfriamiento de los gases es mucho más rápido que en las rocas duras, siendo por tanto la transformación menos completa.

A partir del calor de la expulsión y del volumen de gases liberados, - teóricamente pueden ser calculados el efecto potencial de un explosivo. En los explosivos comerciales el calor de la explosión varía entre 900 y 1,600 kilocalorías/kg, en tanto que el volumen de gas varía entre 500 y 975 litros/kilogramo de explosivo. El calor de la explosión normalmente tiene mayor efecto que el volumen de gases liberados, en la capacidad de trabajo del explosivo. Empero, estas consideraciones - no tienen aplicaciones prácticas para nuestros fines, salvo tomar en cuenta que el rápido enfriamiento de los gases reduce la eficiencia - -

del explosivo, como ocurre en tronadas de rocas suaves.

. SENSIBILIDAD: son dos propiedades que han incrementado su importancia con los agentes explosivos secos y los hidrogeles, que son menos sensibles que las dinamitas:

Sensibilidad a la iniciación. Es la capacidad que tiene un explosivo a ser iniciado; cuando esto sucede con un iniciador # 8, se clasifica como tal, en caso contrario, se clasifica como agente explosivo. La sensibilidad a la iniciación varía considerablemente en los diferentes agentes explosivos y depende de sus ingredientes, tamaño de la partícula, densidad, diámetro del barreno, presencia del agua y en algunos casos como los hidrogeles la temperatura.

Sensibilidad a la propagación. Es la capacidad de un explosivo a propagar su detonación una vez iniciado. Los explosivos muy sensibles pueden propagar la detonación entre barrenos. En el caso de los hidrogeles es necesario en la mayoría de los casos que los cartuchos se toquen para propagarse.

. VELOCIDAD DE DETONACION, es la rapidez con que se propaga la onda de detonación medida en m/s. En explosivos comerciales, la velocidad varía en rangos de 1,200 m/s a 8,000 m/s. Por lo general, en tanto mayor es la velocidad de detonación de un explosivo, mayor resulta ser el efecto de su impacto y frakturamiento de roca; aunque debe tenerse presente que la potencia y densidad del mismo también tienen importante influencia en el efecto de rompimiento.

Para muchos usuarios este es uno de los parámetros más importantes para definir el desempeño de un explosivo, sin embargo, esta demostr

trado que una velocidad de detonación superior a la velocidad sónica de la roca no produce mayores efectos en la fragmentación. En la figura 1.2.5.1 se muestra la relación de la velocidad con respecto al diámetro del barreno.

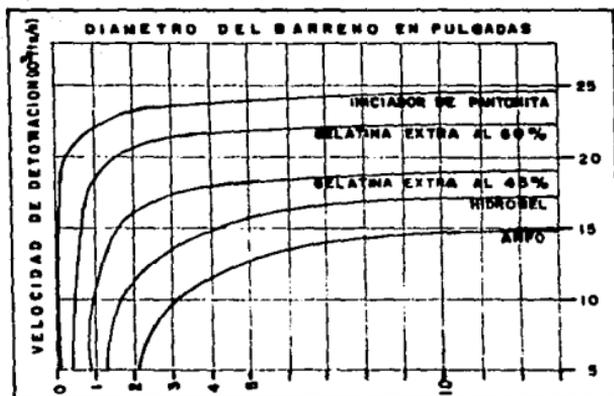


Figura 1.2.5.1. Efecto del diámetro de barrenación en la velocidad de detonación.

. PRESION DE DETONACION. usualmente medida en Kilobars, es generalmente considerada como la presión en la zona de choque adelante de la zona de reacción medida en el plano C-J (ver figura 1.2.5.2). Cuando un explosivo detona, ésta enorme presión produce casi instantáneamente una onda de choque que dura una fracción de segundo en cualquier punto dado.

Esta presión rompe el medio circundante en lugar de desplazarlo y generalmente aceptado que es la que proporciona el poder rompedor al explosivo. Esta facultad depende también de producción de gas -- por el mismo. La presión de detonación es función de la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. En la figura 1.2.5.3 se presenta un nomograma para calcular aproximadamente la presión de detonación en función de la velocidad de detonación y la gravedad específica.

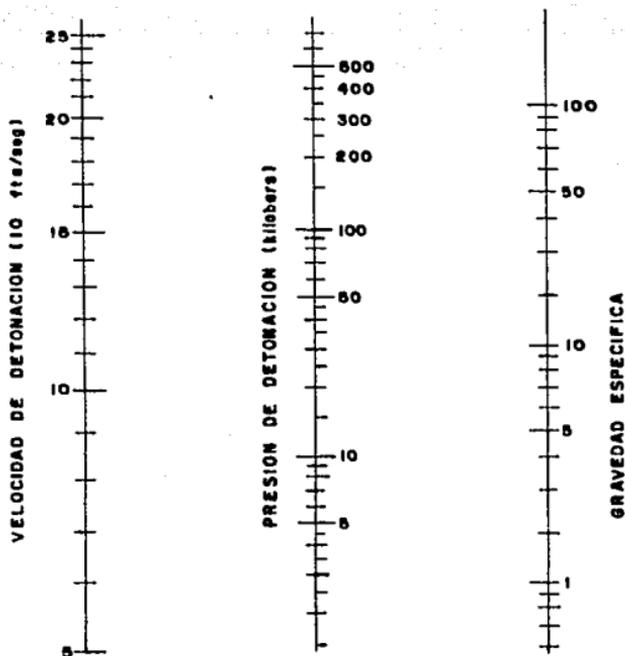


Figura 1.2.5.3 Nomograma para calcular la presión de detonación.

Algunos expertos consideran que una alta presión de detonación generan una onda de choque muy potente y de suma importancia en el rompimiento de rocas muy duras y densas. La presión de detonación de los explosivos comerciales en México varía de 15 a 150 Kilobars.

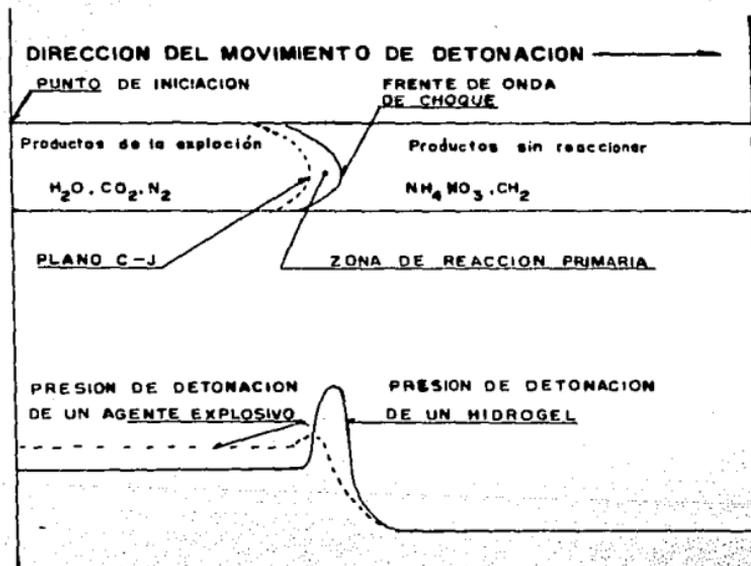


Figura 1.2.5.2 Perfiles de las presiones creadas por una detonación en un barreno.

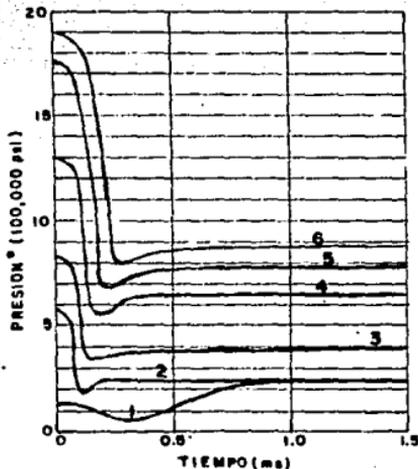
**.PRESION EN EL BARRENO**, también llamada presión de explosión, es la presión ejercida en las paredes del barreno por los gases en expansión producidos por la detonación. La presión en el barreno es función de la cantidad de gases y temperatura de la detonación. Esta presión es considerada como una de las variables más importantes en el rompimiento y desplazamiento de rocas. Esto se afirma en el éxito que tiene el ANFO que no obstante tener una baja velocidad, rompen perfectamente la roca por su relativamente alta presión en el barreno.

Las presiones en el barreno de los productos comerciales varían en un rango de 10 a 60 Kbars. Algunos ANFOS tienen presiones de barreno más grandes que su presión de detonación. La presión de barrenos es la que produce el choque o impacto y tiene un valor del doble de la presión de detonación; esta presión se caracteriza por una onda-puntiaguda frente a la cual toda la materia es ionizada y pulverizada.

- 1.- ANFO-94/6 Granulado
- 2.- ANFO-94/6 Fino
- 3.- AN-Dinamita 60%
- 4.- NG - Dinamita 60%
- 5.- TNT-AN-H<sub>2</sub>O-20/65/15
- 6.- AN-Gelatina 75%

Figura 1.2.5.4. Curvas de presión.

• Calculados bajo confinamiento perfecto.



POTENCIA. En explosivos comerciales, por potencia se entiende la energía contenida en los mismos, la que a su vez determina el empuje o fuerza que pueden desarrollar, y por consiguiente, el trabajo que son capaces de ejecutar.

En las llamadas "Dinamitas nitroglicerinas" y Dinamitas regulares", la potencia se clasifica de acuerdo con el porcentaje, expresado en peso de su contenido efectivo de nitroglicerina; así por ejemplo, una dinamita nitroglicerina de 60% de potencia contiene efectivamente un 60% de nitroglicerina medida en peso. Por otra parte, es necesario tener presente que en la mayoría de los explosivos comerciales intervienen otros ingredientes explosivos que también generan energía al estallar, y por consiguiente, la energía del explosivo no es proporcional a su contenido efectivo de nitroglicerina. Una dinamita de 20% contiene un 20% de nitroglicerina y un 80% de otros agentes explosivos; una dinamita similar de 40% tiene duplicada su energía derivada del contenido de nitroglicerina, pero reducida la de los otros ingredientes.

En general, en los diversos explosivos comerciales su potencia se designa por la potencia a un cierto porcentaje de nitroglicerina; así por ejemplo, un kilogramo de dinamita amoniacal al 60% tiene la misma potencia explosiva que una dinamita nitroglicerina o regular, también al 60%.

DENSIDAD. se expresa normalmente en términos de gravedad específica y es la relación de la densidad del explosivo entre la densidad del agua; una expresión muy usada es la densidad de carga, que es la cantidad de explosivo de una gravedad específica, definida en peso por

unidad de longitud, en un diámetro determinado.

La figura 1.2.5.5. muestra un nomograma para calcular la densidad de carga en función de la gravedad específica y del diámetro de barrenado.

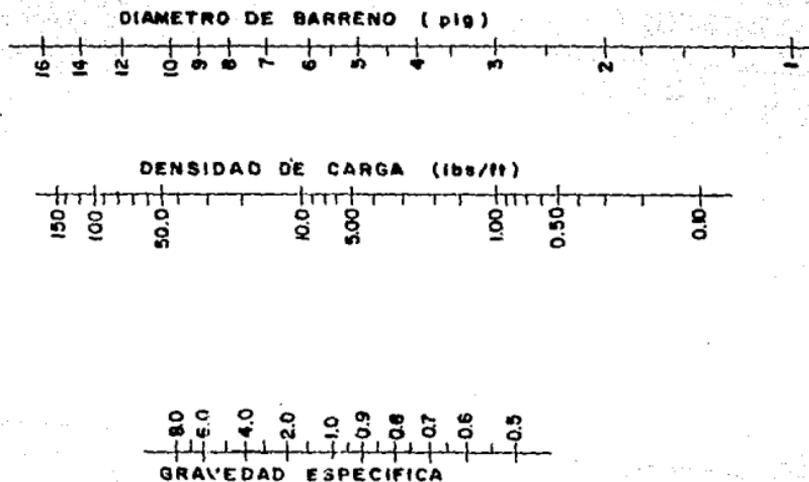


Figura 1.2.5.5. Nomograma para calcular la densidad de carga.

La gravedad específica de los explosivos comerciales en México varía de 1 a 1.35. La densidad de un explosivo determina el peso del explosivo que podrá ser cargado en un barrenado dado.

EMISION DE GASES DAÑINOS Y TOXICOS. En general se busca que los --

explosivos generen en la explosión un mínimo de gases tóxicos; en la práctica, todo explosivo libera en mayor o menor grado una cierta -- cantidad de gases que tienen nocivos efectos fisiológicos sobre las personas, razón por la cual en la selección de los mismos se debe tener en cuenta este aspecto tan importante.

A fin de reducir al mínimo, la generación de gases, especialmente el monóxido de carbono, en una tronada, se deben aplicar las siguientes medidas:

- 1.- Realizar la tronada empleando un buen iniciador en cada barro no.
- 2.- Emplear un explosivo de composición constante y homogénea formado por reactivos en los que se encuentre balanceada la demanda con generación de oxígeno.
- 3.- Reducir al mínimo la materia orgánica accesoria del explosivo, como las envolturas, por ejemplo.
- 4.- Emplear preferentemente disparos eléctricos.

En la figura 1.2.5.6 se consignan los volúmenes de aire puro requeridos para diluir hasta un grado fisiológicamente aceptable los gases -- nocivos generados en la explosión de dinamitas del tipo gelatina amoniacal de 35% de potencia, es decir, con un equivalente de 35% de nitroglicerina.

Los gases venenosos generados por los explosivos producen una baja de presión sanguínea y una pérdida insensible del olfato, lo cual los hace particularmente peligrosos, puesto que sus efectos insensibilizan rápidamente al individuo intoxicado, el cual por lo general no se da cuenta de ello. No olvidemos también que el principal riesgo de envenenamiento

namiento se deriva del monóxido de carbono que se combina con la sangre.

Cuando se truena en rocas suaves en la que los gases se enfrían rápidamente, así como en detonaciones incompletas de "barrenos quemados", las cantidades de monóxido de carbono y de gases nitrosos aumenta en forma notable.

G A S	MAXIMA CONCENTRACION PERMISIBLE  % EN VOLUMEN	VOLUMEN DE GASES GENERADOS POR UN KILOGRAMO DE EXPLOSIVO, MEDIDOS EN LITROS A UNA PRESION Y TEMPERATURA NORMALES.		CANTIDAD DE AIRE REQUERIDO PARA DILUIR LOS GASES NOCTIVOS HASTA UNA CONCENTRACION FISIOLOGICAMENTE SUIVRA, M <sup>3</sup> .  CONSIDERANDO LA ENVOLTURA.
		SIN CONSIDERAR LA ENVOLTURA	CONSIDERANDO LA ENVOLTURA	
BIXOXIDO DE CARBONO	0.5	150	140	28
MONOXIDO DE CARBONO	0.006	25 a 30	6 a 7	100 a 120
GASES NITROSOS	0.0005	<b>0.3 a 0.5</b>	0.5 a 0.8	12 a 20

Figura 1.2.5.6 Volúmenes de aire necesarios para diluir hasta un grado fisiológicamente aceptable los gases venenosos generados en la explosión de un kilogramo de dinamita del tipo gelatina amoniacal al 35% (incluyendo envoltura del cartucho).

## **C A P I T U L O   I I**

### **DETERMINACION DE DAÑOS EN LAS ESTRUCTURAS**

**2.1.- DAÑOS LEVES**

**2.2.- DESPLOMES**

**2.3.- COLAPSO PARCIAL O TOTAL**

**2.4.- DERRUMBES**

**2.5.- LEVANTAMIENTO DE DAÑOS**

## 11.- DETERMINACION DE DAÑOS EN LAS ESTRUCTURAS.

Después de un sismo, cualquier tipo de estructura puede quedar dañada de muy variadas formas; desde pequeñas fisuras hasta el derrumbe total. Es por ello que, antes de realizar cualquier acción, es indispensable llevar a cabo un levantamiento de daños que nos proporcione un panorama general de las condiciones en que se encuentra la estructura en estudio y con ello tener parámetros más firmes sobre las acciones que se habrán de realizar encaminadas a la reconstrucción del inmueble o, en su caso, la demolición del mismo.

Una de las experiencias que nos dejó el sismo fué, por ejemplo, que estructuras similares en condiciones similares sufrieron diferentes daños, mientras que uno sufrió daños leves, otros se colapsó totalmente o viceversa, estructuras diferentes sufrieron daños similares. Lo que se trata de explicar con lo anterior, es que no se puede afirmar que una estructura sufrirá determinados daños al ocurrir un sismo, en teoría un diseño por sismo considera fuerzas horizontales (o de corte), esto es considerado que el sismo produce sólo ondas de corte, pero en realidad un sismo no solo puede producir dichas ondas, sino que además se pueden formar ondas de compresión (o verticales) y superficiales, por lo que se puede concluir que el comportamiento de una estructura ante sollicitaciones sísmicas dista mucho del considerado en un análisis sísmico.

Se pudo observar que las principales fallas presentadas después del sismo, independientemente de aquellas debidas a un mal control de calidad durante la construcción ó fallas accidentales acaecidas en el mismo período, diseño deficiente, etc. fueron las siguientes :

### 2.1.-Daños Leves.

Los daños leves o daños menores, son aquellos que carecen de importancia para la estabilidad de la construcción y esta puede dejarse en su situación actual. Se puede mencionar, por ejemplo, pequeñas fisuras, derrumbe de muros divisorios, pequeños hundimientos y en general daños que no representan mayor peligro para los habitantes del inmueble.

### 2.2.- Desplomes

Dentro de este punto cabe hacer notar que, dependiendo de la magnitud del mismo, un desplome puede catalogarse como daño leve ó de consideración, quedando esto supeditado a un nuevo análisis de la estructura

Entendemos por desplome el esviamiento de los ejes de columnas con respecto a la vertical, aunque para nuestro estudio es necesario diferenciar aquellos desplomes producidos por asentamientos diferenciales no contemplados en el proyecto, los cuales se presentan conforme pasa el tiempo. De igual forma, un desplome por sismo ocurre en un período de tiempo muy corto y con una fuerza tal que daña sustancialmente al cimiento de la estructura.

### 2.3.-COLAPSO PARCIAL O TOTAL.

Pasado el sismo, se presentó un número considerable de colapsos parciales, como por ejemplo, edificios cuyos niveles superiores sufrieron un aplastamiento a causa del fuerte cortante que tronaron las columnas, pero que fué factible la rehabilitación de los niveles inferiores, o bien, edificios que sufrieron de fuertes efectos de torsión y de cortante, principalmente en columnas, los cuales condujeron a una redistribución de esfuerzos, pero mediante una reestructura — — —

ción de las mismas fué posible su rehabilitación, como ocurrió en varios edificios ubicados en la unidad Tlatelolco.

Se consideraron casos de colapso total en aquellos inmuebles donde se presentaron, además de cualquiera de los casos antes mencionados ó bien una combinación de los mismos, derrumbes de consideración ó ruptura y de deformaciones bastante elocuentes en elementos críticos que en suma dañaron severamente la estabilidad de la construcción representando un peligro constante para los habitantes.

#### 2.4.- DERRUMBES.

Cuando una estructura prácticamente se viene abajo se considera un derrumbe y en estos casos es muy difícil determinar las fallas que condujeron a la caída del inmueble, salvo mediante un estudio más minucioso lo cual representa un gasto innecesario; desafortunadamente son estos casos donde se registró un mayor número de muertos dada la rapidez con que ocurren estos derrumbes que prácticamente impiden cualquier intento de desalojo de sus habitantes.

De lo anterior, se deduce que un buen peritaje influye enormemente para la selección del proyecto tanto de reestructuración como de demolición, lo cual presupone que la clasificación de una estructura dentro de una u otra magnitud de daños se basará fundamentalmente en el entrenamiento y la experiencia del perito responsable.

#### 2.5.- LEVANTAMIENTO DE DAÑOS.

Para realizar dicho levantamiento, los sistemas aplicados después del sismo variaron según el perito encargado del mismo, pero finalmente concordaban en los siguientes puntos:

Dictamen Técnico Preliminar. - La finalidad principal de este dictamen consiste en cuantificar si los daños sufridos por la estructura brindan las condiciones de seguridad necesarias para ser habitados, o en su caso para adoptar las medidas necesarias para la protección de los usuarios.

Para tal fin, en la figura 2.5.1 se muestra el posible procedimiento para clasificar edificios dañados en función de las condiciones de seguridad, servicio y estabilidad. Las condiciones de seguridad (daños estructurales) establecen si el edificio es habitable o si debe ser desocupado. Las condiciones de servicio (daños no estructurales) indican las restricciones bajo las cuales el edificio puede ocuparse y por último las condiciones de estabilidad señalan las restricciones de acceso al edificio o a la zona donde éste se encuentre.

Dictamen Técnico Definitivo. - Este dictamen es parte fundamental de los estudios de peritaje y es la base para determinar la mejor solución estructural o de demolición del edificio dañado.

La figura 2.5.2 muestra un procedimiento de registro y el análisis de información que se requiere para emitir un dictamen técnico para la ejecución de proyectos de reparación, refuerzo o reconstrucción.

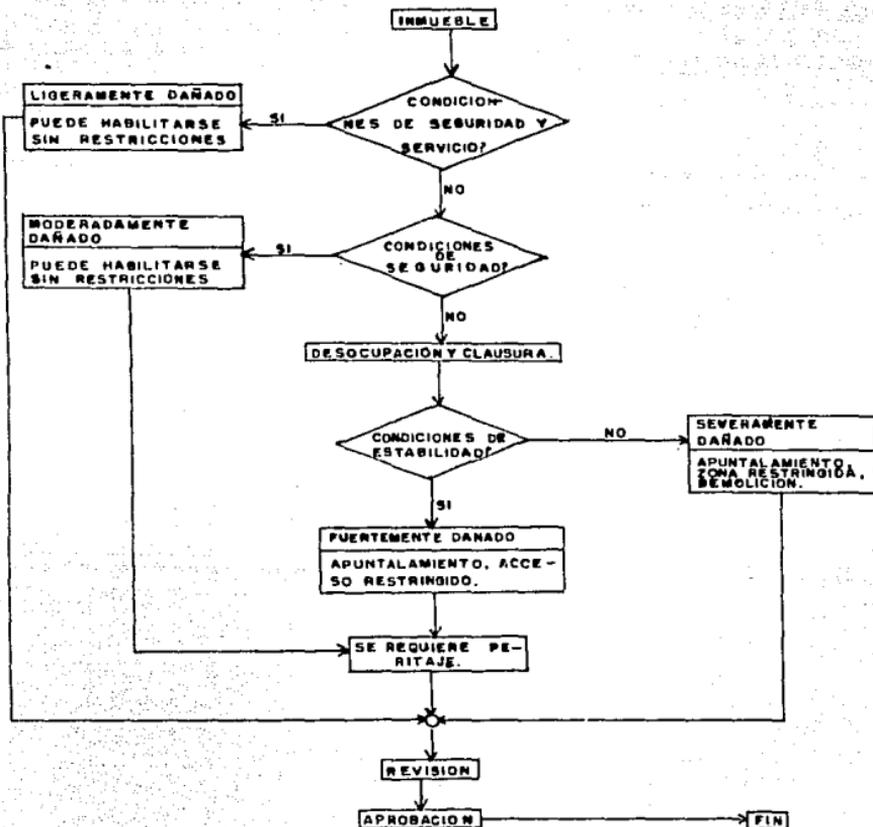


Figura 2.5.1 Dictamen Técnico Preliminar

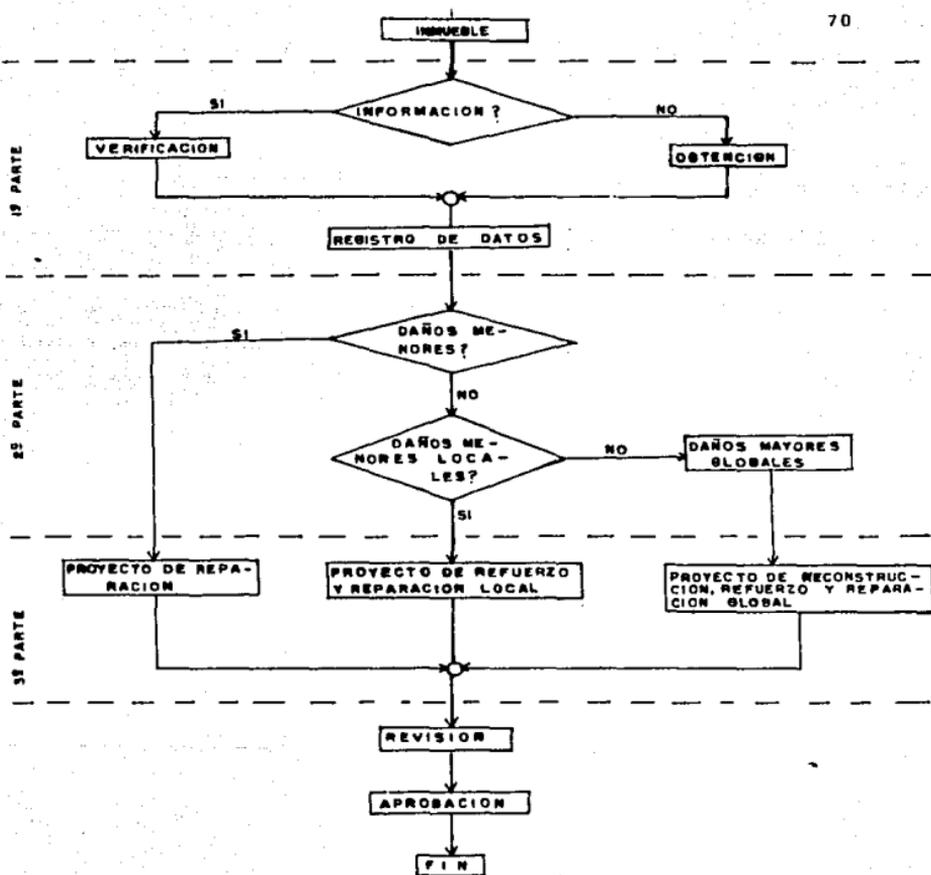


Figura 2.5.2 Dictamen Técnico Definitivo

- 1a. Parte: Recopilación de información de campo
- 2a. Parte: Dictamen Técnico
- 3a. Parte: Alternativa de solución Estructural.

La definición de las soluciones estructurales posibles así como de la clasificación de daños se contemplan en las tablas 2.5.3 y - - 2.5.4 respectivamente.

Reparación	Recuperación de las propiedades originales de resistencia o rigidez de un elemento ó estructura.
Refuerzo y - Reparación	Mejoramiento de las propiedades de resistencia o rigidez de un elemento o estructura.
Reconstrucción refuerzo y re- paración.	Modificación total de las propiedades de resistencia o rigidez de un elemento o estructura.
Tabla 2.5.3. Posibles soluciones estructurales.	

Daños Menores	Los daños carecen de importancia para la estabilidad del elemento o de la estructura, que puede dejarse en su estado actual.
Daños mayores locales	Los daños carecen de importancia para la estabilidad del elemento o la estructura solamente si se refuerza localmente.
Daños mayores globles	Los daños afectan la estabilidad del elemento o la estructura y se debe reconstruir.
Tabla 2.5.4 Clasificación de daños.	

- Criterios y observaciones generales de evaluación.

Durante el sismo, uno de los problemas mayormente presentados fué el de la interacción o choque entre edificios en colindancia; así también el comportamiento propio del inmueble ante sollicitaciones sísmicas, o bien, el excesivo esfuerzo torsionante en un nivel así como el cambio brusco de rigidez entre dos entrepisos fueron las principales causas de fallas en las estructuras.

En otro aspecto, en muchos inmuebles no se contaba con la información sobre el proyecto original en el aspecto estructural de estos, lo que complicó la evaluación de los mismos y esto condujo a realizar un detallado levantamiento de datos en el lugar.

Las formas presentadas en las figuras 2.5.5, 2.5.6, y 2.5.7 se presentan como una opción para recopilar toda la información necesaria para analizar los problemas antes mencionados y a la vez para conocer en detalle la estructuración del edificio en estudio, así como una tipificación recomendable en cuanto a los posibles elementos estructurales que se localizan dentro de un edificio.

En cuanto a los daños, resulta difícil cuantificar la disminución de la resistencia y rigidez de un elemento estructural. Por lo que en la tabla 2.5.8 se presenta una definición de magnitudes generales de daños en función del posible daño, así como una posible solución que pueden ser de gran ayuda para el perito en el momento de realizarse el levantamiento.



TIPIFICACION DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES. tipo de elemento, dimensiones, tipo de material, refuerzo.	NOMENCLATURA.	
	Castillo	K
	Cimiento o zapata	Z
	Columna	C
	Dala	D
	Losa	L
	Muro	M
	Trabe	T
	Diámetro (cm)	Ø
	Espesor (cm)	Ø
	Acero	AC
	Adobe	AD
	Concreto prefab.	CP
	Concreto reforz.	CR
	Madera	MD
	Mamposteria	MM
<b>OBSERVACIONES -</b> _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____		

Figura 2.5.7

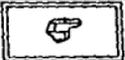
DEFINICION DE MAGNITUD DE DAÑOS			
Ligeramente dañado ( LD )		El elemento o la estructura practicamente no requiere reparación	
Medialmente dañado ( MD )		Elemento o estructura que requiere reparación de daños menores.	
Fuertemente dañado ( FD )		El elemento o estructura necesita refuerzo y reparación de daños mayores locales.	
Severamente dañado ( SD )		El elemento o estructura requiere reconstrucción. Se observan daños mayores globales.	
AGRIETAMIENTO	ANCHO	MAGNITUD DEL DAÑO	SOLUCION POSIBLE
Fisura	$\leq 0,4 \text{ mm}$	LD	No requiere reparación
Grieta	$\leq 1,0 \text{ mm}$	MD	Reparación con resinas epoxicas.
Fractura	$\leq 5,0 \text{ mm}$	FD	Aumento de dimensiones y acero de refuerzo
Dislocación	$> 5,0 \text{ mm}$	SS	Demolición y construcción de un elemento nuevo.
TIPO DE FALLA	MAGNITUD DEL DAÑO	SOLUCION POSIBLE	
	LD	Recubrimiento con yeso o mortero	
	MD	Aplanado de Mortero: Cemento: Arena 1:3	
	FD	Refuerzo con malla electro-soldada 6x6/10x10 y aplanado de mortero CM:AR-1:3	
	SD	Demolición y construcción de un elemento nuevo	

FIGURA 2.5.8

Durante el proceso de registro de daños es indispensable realizarlo en forma completa y confiable, además, se puede contemplar la posible solución local del elemento dañado; para tal efecto, las formas presentadas en las figuras 2.5.9 y 2.5.10 cumple con estos requisitos y permitir al Ingeniero registrar en mayor detalle los daños de elementos principales de una estructura.

Finalmente, para presentar un resumen de daños estructurales en forma cuantitativa se sugiere la forma presentada en la figura 2.5.11. Con base en el croquis de daños y el resumen de los mismos, el perito contará con los elementos suficientes para dictaminar la mejor solución.

El planteamiento anterior se ha desarrollado sólo desde el punto de vista técnico, considerando que, en general, se puede decir que un edificio que se encuentra en pie, técnicamente es posible repararlo. Sin embargo, es necesario considerar que una buena solución práctica no solo depende de aspectos técnicos, sino también de aspectos económicos, sociales, políticos y legales.







## **CAPITULO III**

### **MEDIDAS DE SEGURIDAD ADOPTADAS EN LAS ESTRUCTURAS**

**3.1.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS A CONSIDERAR PARA  
LA ADECUACION DE LOS DISPOSITIVOS.**

**3.2.- DISPOSITIVOS DE CONTROL**

**3.3.- DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD**

**3.4.- MEDIDAS DE SEGURIDAD ADICIONALES**

### 111.- MEDIDAS DE SEGURIDAD ADOPTADAS EN LAS ESTRUCTURAS

Ciertamente, éstas medidas son una función directa de las características, tanto del inmueble a demoler como de las periferias al mismo; aunque, como se podrá notar, dichas medidas están en último instancia enfocadas a la seguridad de toda estructura circundante a la estructura en estudio.

En los sismos de septiembre de 1985, se pudo observar que las principales características que hubo que considerar para determinar las medidas a adoptar son las que a continuación se enlistan, apuntando a la vez el enfoque asumido para cada una de ellas respecto a la influencia que éstas pudieran tener en los daños producidos en una demolición.

#### 3.1.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS A CONSIDERAR PARA LA ADECUACION -- DE LOS DISPOSITIVOS.

3.1.1.- Grados de libertad de la estructura a demoler. En páginas anteriores, se mostraron los posibles grados de libertad que una estructura puede observar, siendo el de cuatro grados el caso ideal para una demolición, pero es muy difícil que se presente, principalmente en zonas urbanas como la Ciudad de México, por lo que se prevee el empleo de dispositivos de protección a los inmuebles circundantes siendo el objetivo principal que la estructura tienda a desprenderse de la o las colindancias durante la demolición.

3.1.2.- Altura de la estructura. Habrá que considerar que un edificio, entre más alto sea, tenderá a dañar los niveles inferiores de las estructuras aledañas; recuerdese que los escombros tienden a --

" despararramarse " provocando un empuje sobre las paredes colindantes.

3.1.3.- Ubicación.- Entendiéndose como la localización propia de la estructura, no tanto para la condición de colindancias, sino más bien enfocado al aspecto de viabilidad, ya que los escombros podrán invadir alguna viabilidad, por lo que habrá que acordonar la zona de demolición a un radio recomendable. Lo anterior presupone la aportación de otras alternativas de circulación, tanto para vehículos como para transeúntes.

3.1.4.- Estado físico que observan las estructuras colindantes. Es necesario recopilar la información necesaria respecto al estado físico desde el punto de vista estructural, que muestran las colindancias, ya que habrá de tomar en cuenta el efecto vibratorio que se producirá en la demolición. En cierto modo, esto deberá considerarse como una restricción para el empleo de explosivos, dado que se puede presentar el caso de un inmueble circunvecino seriamente dañado y la aplicación de explosivos podría aportar un daño adicional e incluso producir un derrumbe parcial o total, aumentando considerablemente el riesgo a las demás estructuras.

3.1.5.- Tipo de explosivo a emplear. En el capítulo II se mencionan las principales características de los explosivos, los cuales invariablemente repercutirán de manera sustancial en el medio circundante.

El conocimiento de las características propias del explosivo a utilizar nos proporcionarán una idea de los posibles efectos que producirá tanto en la estructura analizada como en las colindancias, de éstas-- destacan: el efecto de estallido, velocidad de detonación y emisión-- de gases dañinos, será necesario adecuar el explosivo más propicio --

acorde a las circunstancias en que se desarrollará la demolición. -  
 Lo anterior dará una base para tomar las medidas necesarias a fin -  
 de reducir al máximo posible los efectos dañinos.

El empleo de explosivos en sí, implica una serie de riesgos en su --  
 transporte, almacenamiento y uso; de no tomarse las medidas de se --  
 guridad necesarias podrían arrojar resultados no deseados. Con ob--  
 jeto de proporcionar una idea al respecto, en el apéndice A se enlig  
 tan unas medidas a manera de "siempre y nunca" en el manejo, transp  
 porte, almacenamiento, cebado y disparo de los explosivos.

Los dispositivos que, en general, se adoptan en una demolición se agru  
 pan en 2 bloques principalmente:

3.2.- DISPOSITIVOS DE CONTROL.- Estos están encaminados a tener un con  
 trol, tanto de caída del inmueble como de dispersión de material, sien  
 do los principales:

- Protección de columnas barrenadas con malla ciclón y triplay, para -  
 aumentar el efecto explosivo.

- Protección de cada nivel donde se coloquen explosivos, mediante un -  
 recubrimiento perimental similar al empleado en columnas barrenadas --  
 buscando principalmente evitar la dispersión del material expulsado --  
 por la explosión.

- Protección perimental de la estructura a una distancia no menor de -  
 el número de niveles del edificio en metros, esto es, si el inmueble -  
 cuenta con 14 niveles, se colocará ésta protección a 14 metros de las-

paredes del edificio ( considerandose un ángulo de reposo de material de  $40^\circ$  ).

- La eliminación de puertas y ventanas para que éstas no salgan disparadas debido al efecto explosivo.

- Eliminación de muros de carga y divisorios para lograr un control de caída.

Como se podrá observar, todos éstos dispositivos son realizados en el inmueble a derribar; lo que se busca primordialmente con éstas medidas es la de conservar un margen de área donde tener un mayor control del material producto de la explosión.

3.3.- DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.- La adopción de éstas medidas buscan proporcionar la seguridad necesaria a los inmuebles circundantes de tal forma que éstos sufran los menores daños posibles al realizarse la demolición. Las principales medidas de seguridad a considerar son:

- Retiro de elementos no fijos en la estructura a demoler, evitando con ello que se proyecten, al venir la explosión, sobre otra estructura cercana.

- Si el inmueble en estudio está en colindancia con otras estructuras, será necesario la utilización de cables de acero para asegurar lo mayor posible el direccionamiento, colocando éstos cables de tal forma que, al venir la explosión, se logre un " jaloneo" entre las columnas que tiendan a separar este inmueble de los demás y así evitar que el edificio se derrumba sobre las colindancias.

- Cuando los inmuebles, tanto el que se demolerá como los colindantes estén unidos de alguna forma, habrá que realizar previamente una remoción de éstas uniones, como podrían ser los muros, pasillos de unión, cimentaciones, etc. Hay que lograr que la estructura por demoler se encuentre totalmente aislada estructuralmente.

- Colocación de recubrimiento, mediante triplay, en puertas y ventanas de las estructuras colindantes, para evitar que los posibles proyectiles lanzados por la explosión ocasionen daños a éstas.

- Suspensión temporal del suministro, tanto de gas, de energía eléctrica, ya que en la demolición, por alguna chispa, se conviertan en conductores de fuego y provoquen daños a otras estructuras. Esta medida deberá adoptarse por lo menos a un radio de influencia no menor de 150 metros alrededor de la estructura en estudio.

3.4.- MEDIDAS DE SEGURIDAD ADICIONALES.- Aunque éstas no están encaminadas a proporcionar seguridad a las estructuras ó inmuebles, si lo están para la protección de otros, como lo son las líneas ( de electricidad, telefónicas, etc.) y ductos subterráneos (del "metro" de agua potable y alcantarillado ). Las principales medidas de este orden son ::

#### 3.4.1.- En líneas:

- Es recomendable retirar, temporalmente, todas éstas líneas ya que al venir la explosión, algún fragmento disparado podría llegar a mutilar alguna línea, dando lugar a posibles daños a otras instalaciones aledañas.

- Cuando no sea posible retirar dichas líneas ( como generalmente sucede ), se sugiere proporcionar una protección adicional, pudiendo ser ésta la colocación de lonas que se interpongan a los posibles proyectiles y las propias líneas.

#### 3.4.1.- En Ductos Subterráneos:

- El único dispositivo práctico aplicable a los ductos, es la colocación de un talud que sirva como amortiguador del posible peso de la estructura que pudiera caer en la zona donde se localice el ducto.

Los dispositivos de control como de seguridad, así como los adicionales antes mencionados, son los recomendables para tener un máximo control en la demolición. Las experiencias adquiridas en el sismo mostraron que no todas son posibles de realizar ya que, como se mencionó anteriormente, éstas medidas son una función de las características de la zona donde la demolición se realizará; aunque es conveniente mencionar que, siempre y cuando sea factible, se adoptarán el mayor número de dispositivos para lograr una adecuada seguridad.

#### OTRAS MEDIDAS.

En éstas se engloban aquellas que no son de índole estructural, sino de carácter humano, pero que deberán adoptarse para la seguridad de los habitantes. Algunas de ellas se mencionaron en el capítulo II, -- así como las que se mencionan en el apéndice A . de estas destacan por su importancia:

- Una alternativa de solución vial, para desviar el tránsito peatonal y vehicular por otras vías alejadas prudentemente de la zona.

La alternativa deberá tomar vigencia por lo menos una hora antes de que se realice la demolición.

- Acordonamiento de la zona a un radio mínimo de influencia de 150 metros, buscando básicamente que las personas no sufran daños fisiológicos debido a la emisión de gases tóxicos a la atmósfera, producto éstas de la detonación.

- Se podrá ingresar a la zona de demolición a un tiempo no menor de 60 minutos, tiempo considerado para una total emansipación de los gases tóxicos así como para descartar la posibilidad de explosión de algún barreno "quedado". Esta práctica se observó muy frecuentemente durante las demoliciones realizadas en la Ciudad de México con -- resultados satisfactorios.

- La detonación de los explosivos se llevará a cabo por medio de una máquina explosora, o un mecanismo similar, realizandose esta operación a una distancia no menor de 150 metros del edificio, aportando con ello mayor seguridad al personal técnico encargado de la demolición.

- Cuando sea necesario, los explosivos se almacenarán únicamente en un polvorín ( cuarto ) que esté limpio, seco, bien ventilado, localizado en un lugar adecuado ó aislado y construido satisfactoriamente.

- No se utilizarán herramientas para abrir las cajas de madera con explosivos, que puedan producir chispas.
- Evitar colocar ó depositar los explosivos en lugares expuestos al calor.
- Los explosivos o accesorios que están obviamente dañados ó que no observen la seguridad adecuada deberán de ser desusados para eliminar los posteriormente.
- Se considerará la posibilidad de los riesgos de electricidad estática producidos por el cargado neumático, tomando las medidas precautorias necesarias.
- Nunca realizar un barrenado cerca de otro ya cargado con explosivos, por ningún motivo se barrenará sobre algún explosivo.
- En el retaque, se evitará forzar al explosivo hacia el interior -- del barrenado, procurando verificar primero que éste no muestra obstrucciones al paso del explosivo. Se procurará utilizar siempre atacadores de madera sin partes metálicas expuestas. Evitese un retacado vilento, debiendo ser éste pausado.
- Se abstendrá la utilización de estopines eléctricos cerca de grandes cargas de electricidad estática, excepto a distancias seguras ó en su caso contemplar la posibilidad de suspender temporalmente éstas cargas.

- El circuito de estopines eléctricos deberá estar aislado de corrientes erráticas. Se utilizarán estopines eléctricos del mismo tipo y por el mismo fabricante, nunca se usarán de diferente estilo salvo previa aprobación del fabricante.

- Los estopines se revisarán previamente, mediante un galvanómetro, para verificar su adecuada conexión al circuito. Asimismo se observará que los extremos de los alambres que se van a conectar estén brillantes y limpios.

- Siempre conserve los alambres de los estopines, a las líneas de guía desconectados de la fuente de energía y en corto circuito hasta que estén listos para dispararse. No se intentará disparar un estopin o un circuito de éstos con una corriente inferior a la mínima especificada por el fabricante.

Las medidas, en conjunto, antes mencionadas, a simple vista podrán parecer extremas; sin embargo recuérdese que tan sólo el empleo de explosivos implica riesgos adicionales a los posibles riesgos que se pudieran presentar en la demolición en sí, esto toma mayor relevancia cuando un trabajo de esta índole se realice en una zona urbana, por lo que cualquier medida adoptada, tanto para el manejo de explosivos como para los lugares donde estos se utilizarán, serán de suma utilidad. Por otra parte se podrá observar que unas medidas dan origen a otras, tal es el caso de suspender la energía eléctrica evitando con ello que los estopines eléctricos sean afectados por la presencia de este tipo de energía.

## **CAPITULO IV**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

**4.1.- ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA**

**4.2.- DETERMINACION DE CARGAS**

**4.3.- ANALISIS ECONOMICO**

#### IV.- DESARROLLO DEL PROYECTO

En el capítulo se ejemplificarán los principales puntos expuestos hasta el momento que, a forma de proyecto de demolición de un inmueble con la aplicación de explosivos, se deberán contemplar.

Conviene aclarar que la aplicación de explosivos, para realizar demoliciones de estructuras, no solo se limita a aquellas dañadas por algún movimiento telúrico como ocurrió en México, sino que, además, es posible la aplicación de este método en estructuras que, por alguna razón, se requiere demoler, como podría ser el caso de un inmueble que se demolerá para dar lugar a la construcción de uno más moderno o de mayores dimensiones; este caso se presenta frecuentemente en los Estados Unidos, en donde la aplicación de explosivos se enfoca a la demolición de inmuebles viejos o poco funcionales, con el objeto de alojar, posteriormente, alguna estructura más moderna y eficaz.

Para el presente trabajo, a continuación se expone el proyecto de demolición de un inmueble localizado en zona céntrica de la Ciudad de México, el cual fue afectado por los sismos, reportando principalmente: deformaciones notables en columnas y traveses, localizadas entre los niveles 2 y 6 en la dirección Este-Oeste; --agrietamiento de traveses y columnas en los niveles 3 al 6; fisuras en los capiteles y agrietamientos notables en un porcentaje considerable de las losas.

El peritaje respectivo, determinó la restructuración del inmueble, ya que las condiciones de seguridad y servicio así como las de estabilidad fueron satisfactorias; pero en este caso se considerará al inmueble con la necesidad de su demolición.

##### 4.1.- ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA.

##### 4.1.1.- Inspección exterior.

El inmueble en estudio se encuentra ubicada en la esquina que forman las avenidas San Antonio Abad y Fray Servando Teresa de Mier, frente al conjunto "Pino-

Suárez" en la colonia Lorenzo Boturini dentro de la delegación Cuauhtémoc.

El inmueble ocupa en su totalidad una cuadra y un área neta de 1982 m<sup>2</sup> con una forma trapezoidal, tal como se observa en el anexo IV-1. No presenta colindancias estructurales, pero sí con importantes avenidas, de la siguiente manera:

- Al norte, la estructura está delimitada por la avenida Fray Servando Teresa de Mier con un ancho de calzada de 30.0 mts y precisamente en la intersección con San Antonio Abad se observa un paso a desnivel a escasos 11.0 mts de la estructura. En cuanto a instalaciones subterráneas importantes, sobre la avenida se localiza una tubería de agua potable con un diámetro de 1.20 mts y a una profundidad de 1.8 mts, esta se localiza en el arroyo contiguo a la estructura.
- Al sur está delimitada por la calle Chimalpopoca con un ancho de avenida de 19.0 mts, es de tránsito local y en cuanto a instalaciones subterráneas se localizan dos tuberías de alcantarillado (colectores) con diámetros de 0.76 y 0.91 mts, a una profundidad de 1.5 mts a partir del nivel de terreno. En la esquina con San Antonio Abad, se localiza una planta de bombeo de aguas negras a cargo de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica en la que se encuentran equipo y maquinaria sumamente importante para el buen funcionamiento de la red de alcantarillado que cubre la zona en estudio.
- Al este, con la calle Cda. Fray Servando, la cual cuenta con un ancho de calzada de 25.0 mts y es de tránsito local; en seguida se localiza un inmueble de gran longitud, el cual cuenta con tres niveles y una altura total de 8.0 mts aproximadamente, se observa que esta estructura es de reciente construcción.
- Finalmente, al oeste, la estructura se delimita por la avenida San Antonio Abad con un ancho libre de calzada de 34.0 mts, y posteriormente a 15.0 mts se encuentran dos inmuebles de poca altura de tipo colonial.

A un radio de 200 mts, no se localizan estructuras importantes o de gran altura, salvo el conjunto "Pino Suárez", el cual se encuentra en construcción ac---

tualmente. En cuanto a estructuras subterráneas, la más importante es el túnel de la línea 2 del Sistema de Transporte Colectivo 'Metro', el cual corre en la avenida San Antonio Abad; dicha estructura se localiza a unos 15.0 mts de profundidad frente al inmueble en estudio.

#### 4.1.2.- Inspección interior.

La estructura en cuestión cuenta con cuatro cuerpos: Los cuerpos "A" y "C" comprenden sótano, planta baja, doce niveles y azotea; en el cuerpo "B" se ubica el cubo de escaleras y elevadores que abarca desde el sótano hasta unos 5.0 mts aproximadamente por encima del nivel de azotea de los cuerpos "A" y "C", a su vez, estos 5.0 mts corresponden a dos niveles, uno para dar cabida al elevador hasta nivel azotea y otro destinado al cuarto de operación del elevador. Finalmente, el cuerpo "D" solo cuenta con sótano y planta baja (Ver anexo IV-2).

La altura entre niveles es de 3.5 mts y cuenta con una altura de 46.0 mts hasta nivel azotea a partir del terreno.

La estructura esta constituida por marcos de concreto y losas reticulares; cuenta con un total de 59 columnas de sección variable tal como se observa en el anexo IV-3, de éstas, 34 son perimetrales distinguiéndose un total de 14 secciones típicas.

Las trabes más peraltadas corresponden a las perimetrales, esto en cada nivel, excepto en el cuerpo "D", con una sección de 25 x 200 cms. En cuanto a las losas, éstas se realizaron por medio de casetones de 50 x 50 x 15 y un espesor neto de 10 cms en la losa.

En la fachada principal, posterior y costados, el inmueble presenta muros en cada nivel de 1.20 mts de altura y 0.30 mts de espesor; excepto en el cuerpo "B" en su fachada posterior.

En el cubo de escaleras y elevadores se distinguen dos tipos de muro de concreto reforzado; uno cuya sección es de 50 x 350 cms y otro de 50 x 450 cms, los

cuales se elevan hasta el cuarto de operación de los elevadores.

Finalmente, el inmueble descansa sobre un cajón-cimentación soportado por 128 pilotes, sección 40 x 40 cms, distribuidos de la siguiente manera:

- Bajo columnas en esquina \_\_\_\_\_ 1
- Bajo columnas laterales \_\_\_\_\_ 2
- Bajo columnas centrales \_\_\_\_\_ 4

La altura de los pilotes es de 32.2 mts, hasta tocar estrato duro; en el cuerpo "D" no se requirió colocar pilotes.

#### 4.1.3.- Diagnóstico.

De acuerdo a lo establecido en las inspecciones realizadas a la estructura, será conveniente considerar lo siguiente:

- Preferentemente se deberá direccionar la caída hacia el este, ya que hacia el oeste sería muy riesgoso por lo que representa la ubicación del tren subterráneo "metro" y los inmuebles coloniales; tampoco es conveniente dirigir la caída al norte ya que se tendrían problemas de invadir, con material de la demolición, el paso a desnivel; al sur se presenta el problema de la ubicación de la planta de bombeo antes citada.
- Se deberán tomar las medidas de seguridad necesarias para proteger la planta de bombeo de posibles fragmentos que pudieran proyectarse a esta zona durante la demolición.
- Es posible aprovechar tanto el cajón-cimentación como el sótano, para dar alojamiento a un buen porcentaje del material producto de la demolición; por tanto, las columnas perimetrales en estos niveles no se barrenarán para conservar, por unos instantes, este espacio.
- Se deberán barrenar las trabes muy peraltadas, preferentemente aquellas orientadas en la dirección este-oeste, por lo menos en los mismos niveles en donde se colo-

caran explosivos en columnas. De ser posible, se buscará desfasar los tiempos, respecto a los ejes de columna, buscando básicamente generar un cortante diagonal a los marcos y con ello romper las trabes.

- Los muros (M-1 y M-2) del cubo de escaleras y elevadores deberán seccionarse, para evitar el efecto de cubo rígido durante la caída; en la práctica, esta clase de muros se seccionan a cada 2 niveles generalmente.
- Se recomienda proyectar la remoción, antes de la demolición, de los muros de tabique en la fachada posterior, lograndose con ello mayor libertad a la dirección de --caída.
- Para direccionar la caída hacia el este, será en el eje "A" del inmueble donde se registrarán los tiempos cero, esto es, se registrarán las primeras detonaciones en este eje.
- No se aplicaran explosivos en el cuerpo "D" dada su poca altura y de esta manera, dicho cuerpo podría trabajar como barrera y evitar invadir la avenida Fray Servando T. de Mier.
- Contemplar la posibilidad de colocar un talud de protección, para el tren subte--rraneo "metro", en el caso de que durante la caída del inmueble, se deslicen volúme--nes sobre la avenida San Antonio Abad.
- En cuanto a las vibraciones que se generarán durante la caída del inmueble; a pesar de que no es posible tener un control de éstas, la práctica ha mostrado que, en este tipo de trabajos, la influencia de dichas vibraciones en la periferia no ha sido tan determinante; sin embargo, se deberán emplear sismógrafos para registrar estas vibraciones.

#### 4.2.- DETERMINACION DE CARGAS.

Para determinar las cargas, independientemente de los datos antes expuestos, ya que solo habrá que considerar las dimensiones y características de las columnas - que son los puntos de apoyo de la estructura, se considerarán dos criterios:

a).- El criterio al que denominaremos "militar" (para cargas de brecha), cuya ecuación empírica considera las condiciones en que se coloca la carga explosiva, el tipo de material por destruir, grado de atracado del explosivo y las dimensiones del elemento por destruir. Esta ecuación ha sido desarrollada a través de pruebas cuyos resultados aportados fueron satisfactorios. La ecuación es:

$$P = 8R^3 K Fa, \text{ en donde:}$$

P es la carga de TNT o similar, en Kgs.

8 una constante.

R radio de brecha que se desea, en mts.

K factor del material por destruir, en Kg / m<sup>3</sup>.

Fa factor que depende de la colocación y atraque de la carga, adimensional.

En el apéndice F se muestran los valores de Fa, mientras que en el apéndice G se presentan los valores de K los cuales están en función del valor R considerado.

Este criterio es el que aplica el ejército mexicano para determinar la cantidad de explosivos para destruir las estructuras con fines exclusivamente militares, pero a raíz de los sismos tubo gran aplicación para obtener un marco de referencia en cuanto a la carga a utilizar en las demoliciones realizadas.

b).- El criterio Langefords; este es el que tradicionalmente se viene aplicando para trabajos de cantera y fue desarrollado por el sueco Ulf Langefords, publicado -- por la Atlas Copo. Este criterio está basado en experiencias sistemáticamente conducidas, observadas y registradas, sobre tronadas realizadas en roca sana para comprobar las deducciones teóricas del método. Los resultados se han sometido a comprobaciones exhaustivas en trabajos con tronadas a gran escala y magnitud en condiciones muy variadas. Las fórmulas y nomogramas, consignadas en el apéndice E, son el resultado del trabajo antes descrito y, por consiguiente, su aplicación para trabajos en roca sana es muy confiable.

El criterio de  $U_L$  Langefords considera varios parámetros que, directa o indirectamente, intervienen en una voladura, tales como el diámetro del barreno, separación entre los mismos, altura del banco, resistencia específica de la roca, potencia del explosivo, inclinación del barreno, etc. Desafortunadamente, este criterio no se ha empleado en elementos de concreto, por lo que este criterio es poco confiable en este tipo de trabajos, de tal forma su aplicación solo proporciona un dato de referencia respecto a la cantidad de explosivos a utilizar en las demoliciones.

Como se señaló anteriormente, será en las columnas donde se colocarán los explosivos y, dependiendo del nivel donde se ubican, se realizarán de dos a cuatro barrenos por columna. A continuación se presenta la tabla IV-1, con las características geométricas más importantes de cada una de las columnas del edificio en estudio; posteriormente, se presentan los resultados que, desarrollando los criterios anteriores, proporcionan las cantidades de explosivos a utilizar, según la columna que se trate.

TABLA IV-1

COLUMNA	SECCION h x h (cm)	70% h m	30% h m	50% b m	COLUMNAS / NIVEL		TOTAL DE BARRENOS	LONGITUD TOTAL DE BARRENACION	PERIMETRO 2 (b+h) m	AREA TOTAL DE PROTEC. m <sup>2</sup>
					PERIME- TRALES	CENTRA LES				
K-1	50 x 80	0.56	0.24	0.25	1	-	7	3.92	2.6	10.6
K-2	60 x 100	0.70	0.30	0.30	3	4	77	53.90	3.2	116.1
K-3	70 x 110	0.77	0.33	0.35	-	19	266	204.82	3.6	448.3
K-4	70 x 100	0.70	0.30	0.35	7	-	49	34.30	3.4	126.5
K-5	70 x 220	1.54	0.66	0.35	2	-	14	21.56	5.8	61.7
K-6	60 x 150	1.05	0.45	0.30	4	-	21	22.05	4.2	63.2
K-7	70 x 150	1.05	0.45	0.35	9	-	63	66.15	4.4	203.9
K-8	70 x 80	0.56	0.24	0.35	2	-	14	7.84	3.0	26.8
K-9	80 x 250	1.75	0.75	0.40	1	-	14	24.50	6.6	39.3
K-10	50 x 250	1.75	0.75	0.25	1	-	-	-	6.0	-
K-11	60 x 110	0.77	0.33	0.30	2	-	-	-	3.4	-
K-12	60 x 140	0.98	0.42	0.30	-	2	14	13.92	4.0	12.8
K-13	80 x 150	1.05	0.45	0.40	1	-	10	10.50	4.6	27.4
K-14	50 x 150	1.05	0.45	0.25	1	-	-	-	4.0	-
T O T A L E S					34	25	549	463.26		1,136.6

## 4.2.1.- Cálculo de cargas.

## a) Criterio "Militar"

$$- \text{Carga de brecha } P = 8R^3 K Fa$$

Datos:

R = 30% de la dimensión mayor de la sección (h) de cada columna.

K = Del apéndice G, para  $R < 0.91$  mts,  $K = 0.70$

Fa, Del apéndice F, Fa = 1.25 (carga colocada en barreno y atracada).

COLUNNA	R (m)	K (Kg/m <sup>3</sup> )	Fa	P (Kgs)	TOTAL BARRENCOS	CARGA TOTAL (Kgs)
K-1	0.24	0.70	1.25	0.097	7	0.679
K-2	0.30	"	"	0.189	77	14.553
K-3	0.33	"	"	0.252	266	67.032
K-4	0.30	"	"	0.189	49	9.261
K-5	0.66	"	"	2.012	14	28.168
K-6	0.45	"	"	0.638	21	13.398
K-7	0.45	"	"	0.638	63	40.194
K-8	0.24	"	"	0.097	14	1.358
K-9	0.75	"	"	2.953	14	41.342
K-10	0.75	"	"	2.953	---	---
K-11	0.33	"	"	0.252	---	---
K-12	0.42	"	"	0.519	14	7.266
K-13	0.45	"	"	0.638	10	6.380
K-14	0.45	"	"	0.638	---	---
<b>T O T A L = 229.631</b>						

Tabla IV-2

Conviene aclarar que el total de barrenos, consignados en la tabla IV-2, - se obtuvieron en función de la ubicación de la columna, así como de los niveles que se trabajarán con explosivos; en este caso, los niveles se trabajarán de la siguiente forma:

- Cajón-cimentación; tres barrenos por columna, excepto columnas perimetrales.
- Sótano; cuatro barrenos por columna, excepto las perimetrales.
- Planta baja; con tres barrenos por columna.
- Niveles 2 y 5; dos barrenos por columna.

Se hace notar que en el cuerpo "D" no se colocarán explosivos, por lo que las columnas K-6 (una), K-10, K-11, K-12 (una) y K-14 no se barrenarán.

Por otra parte, aunque en el apéndice G se consignan valores de K para - cuando el material por destruir es concreto armado, la carga a utilizar deberá destruir el área de acero existente en la sección de cada columna. Por ello se adopta el valor de K para concreto ordinario y, posteriormente mediante unas pruebas preliminares en columnas seleccionadas, se dosifica la carga, la cual deberá por lo menos mutilar perfectamente el acero.

#### b) Criterio "Lanfords".

Para poder aplicar este criterio, se deben hacer las siguientes consideraciones:

- Se considerará a K (altura del banco) como la dimensión mayor (h) de la sección en cada columna.
- De igual forma, el valor de V (separación frontal) equivaldrá al 50% de la menor dimensión (b) de la sección en cada columna.
- En tronadas realizadas en diferentes tipos de roca se ha encontrado que en la mayoría de los casos, S (resistencia específica de la roca a ser tronada) tiene un valor aproximado de  $0.4 \text{ Kg/m}^3$  con variaciones del 15 al 20% en más o en menos. En México, el valor de S varía entre 0.30 y  $0.60 \text{ Kg/m}^3$  aproximadamente según se trate de rocas muy suaves o muy duras. Por lo anterior, el valor de S se considerará igual-

a  $0.40 \text{ Kg/m}^3$ .

- En la práctica, se aplica el valor de  $f$  (factor de constricción o confinamiento) igual a 1.0, cuando el banco tiene su frente vertical y los barrenos se realizan en forma paralela a este frente, considerándose al fondo del barreno constreñido por el piso del banco.

- Generalmente, el espaciamiento ( $E$ ) resulta más favorable en una tronada cuando  $E \pm 1.3 V$

- El valor de  $s$  (potencia del explosivo) depende directamente de la constitución del explosivo. Durante las demoliciones, se utilizó un explosivo licuado o hidrogel denominado "Tovex-100" cuya potencia  $s = 0.75$ , esto es, contiene un 26.25% en peso de nitrato de amonio.

• Por medio de este criterio, las cargas se pueden obtener por dos formas distintas:

b.1.- Por fórmulas:

De las fórmulas consignadas en el apéndice E-1, se aplicarán las siguientes:

- Carga de columna:  $l_p = 0.4 (0.07 V + SV^2)$ , en Kgs/m.

- Carga de fondo:  $Q_b = 2.50 (l_p) V$ , en Kgs.

- Carga total:  $Q_t = (K + 1.5 V) l_p$ , en Kgs.

- En barrenos múltiples, la carga total por barreno es:

$$Q = \frac{f}{s} \cdot \frac{E}{V} (0.80 Q_t) \quad , \text{ en Kgs.}$$

Datos:  $s = 0.75$  ,  $E/V = 1.3$  (en todos los casos)

$f = 1.0$

A continuación se presenta una tabla en donde se exponen los valores de  $K$ ,  $V$  y el resultado de  $l_p$ ,  $Q_b$ ,  $Q_t$  y  $Q$  correspondiente a cada columna.

COLUNA	K (m)	V (m)	$I_p$ (Kg/m)	Qb (Kgs)	Qt (Kgs)	Q (Kgs)	TOTAL DE BARRENOS	CARGA TOTAL (Kgs)
K-1	0.80	0.25	0.017	0.011	0.020	0.028	7	0.196
K-2	1.00	0.30	0.023	0.017	0.033	0.046	77	3.542
K-3	1.10	0.35	0.029	0.026	0.048	0.067	266	17.822
K-4	1.00	0.35	0.029	0.026	0.045	0.062	49	3.038
K-5	2.20	0.35	0.029	0.026	0.080	0.111	14	1.554
K-6	1.50	0.30	0.023	0.017	0.045	0.062	21	1.302
K-7	1.50	0.35	0.029	0.026	0.060	0.083	63	5.229
K-8	0.80	0.35	0.029	0.026	0.039	0.054	14	0.756
K-9	2.50	0.40	0.037	0.037	0.114	0.158	14	2.212
K-10	2.50	0.25	0.017	0.011	0.049	0.068	---	---
K-11	1.10	0.30	0.023	0.017	0.035	0.049	---	---
K-12	1.40	0.30	0.023	0.017	0.042	0.058	14	0.812
K-13	1.50	0.40	0.037	0.037	0.074	0.103	10	1.030
K-14	1.50	0.25	0.017	0.011	0.052	0.044	---	---
T O T A L =								37,493

Tabla IV-3

## b.2.- Por nomogramas:

Con el uso del nomograma la consignado en el apéndice E-2, en función de  $V$ ,  $S$ ,  $f$  (se refiere a la inclinación del barreno, para nuestro caso  $f = 00 : 1$ ), la relación  $E/N$ ,  $s$  y  $p$  (grado de ataque del explosivo; en la práctica se estima que  $p = 1.0$  cuando el ataque se realiza en forma manual y con un atacador de madera, -- por lo que en este caso se considerará a  $p = 1.0$ ), se calcula el valor de carga de columna ( $I_p$ ); así, por ejemplo, consideremos a la columna K-1 cuyos datos son:

CROQUIS PLANTA TIPO	
ENTREPISOS) _____	NIVEL (ES) _____
	<b>NOTAS:</b>

Figura 2.5.6

$$\begin{array}{lll} V = 0.25 \text{ mts.} & f = 00 : 1 & s = 0.75 \\ S = 0.40 \text{ Kg/m}^3 & E/V = 1.30 & p = 1.00 \end{array}$$

En el nomograma se localiza  $V = 0.25$  m en la escala horizontal inferior, se realiza un trazo auxiliar perpendicular a ésta escala y se interseca a  $S = 0.40$ ; -- después, perpendicularmente se continua el trazo hacia la izquierda intersectando a las líneas correspondientes a los valores  $f$ ,  $E/V$ ,  $s$  y  $p$ ; cuando alguno de estos valores corresponda a una línea principal, el trazo se continua sin variación; ahora -- bien, si algún valor no es de una línea principal, primeramente se interseca ésta -- línea y, posteriormente, se interseca perpendicularmente a la línea del valor buscado, continuando después el trazo a la izquierda (ver anexo IV-4) hasta intersectar, finalmente la escala vertical de la izquierda en donde se lee que para K-1, - - - -  $l_p = 0.017 \text{ Kg/m}$ . Con este dato se calculan los valores de  $Q_b$ ,  $Q_t$  y  $Q$ , repitiendo el procedimiento para cada columna.

Ahora bien, una forma más rápida de conocer la carga total ( $Q_t$ ) por barrer-- no, es mediante el uso del nomograma 2 (apéndice E-2), en donde  $Q$  se obtiene en función de los valores de  $V$ ,  $K$  y  $S$ . Para ejemplificar lo anterior, consideremos a la -- columna K-5 con los siguientes datos:

$$\begin{array}{l} V = 0.35 \text{ mts.} \\ K = 2.20 \text{ mts.} \\ S = 0.40 \text{ Kg/m}^3 \end{array}$$

En la escala horizontal superior de nomograma, se localiza a  $V = 0.35$  mts., con un trazo auxiliar perpendicular a la escala se interseca tanto a la curva co-- rrespondiente a  $S = 0.40$  y la curva de  $K = 2.20$  (aproximadamente); el segmento comprendido entre dichas intersecciones se proyecta sobre la escala vertical de la derecha y se ve que la carga máxima para K-5 es de 0.08 Kgs (ver anexo IV-5).

A continuación se expone la tabla IV-4, en donde se presentan los valores -- obtenidos por nomogramas, tanto para  $l_p$  como  $Q_t$ , así como los valores de  $Q$  y el total de carga necesaria para efectuar la demolición.

Se podrá observar que los resultados obtenidos por fórmulas son similares a los obtenidos por nomogramas, con una diferencia del 5.37% mayor éstos últimos.

COLUMNA	NOMOGRAMA 1a $l_p$ (Kg/m)	NOMOGRAMA 2 $Q_t$ (Kgs)	$Q$ (Kgs)	TOTAL DE BARRENOS	CARGA TOTAL (Kgs)
K-1	0.015	0.017	0.024	7	0.168
K-2	0.022	0.040	0.055	77	4.235
K-3	0.027	0.050	0.069	266	18.354
K-4	0.027	0.050	0.069	49	3.381
K-5	0.026	0.080	0.111	14	1.554
K-6	0.022	0.050	0.069	21	1.449
K-7	0.027	0.060	0.083	63	5.229
K-8	0.027	0.040	0.055	14	0.770
K-9	0.038	0.120	0.166	14	2.324
K-10	0.015	0.055	0.076	---	---
K-11	0.022	0.048	0.067	---	---
K-12	0.022	0.048	0.067	14	0.938
K-13	0.038	0.080	0.111	10	1.110
K-14	0.015	0.038	0.053	---	---
				T O T A L = 39.512	

Tabla IV-4

Al realizar una comparación de los resultados obtenidos al aplicar los dos criterios, nos damos cuenta que existe una marcada diferencia, siendo el criterio "militar" mayor en un 48% en comparación al total de carga obtenida por el criterio "langefords".

En los trabajos de demolición efectuados en la Ciudad de México, se aplicaron, generalmente, los valores obtenidos por el criterio "militar" por dos razones, principalmente:

- 1.- Con cargas mayores, la probabilidad de destruir un elemento es mayor y,
- 2.- El criterio "Langeforde" se ha venido aplicando exclusivamente para roca o en trabajos de cantera, lo que sugiere unas condiciones muy distintas en comparación a elementos de concreto armado.

En cuanto al diámetro del barreno, se trabajará con el de 32 mm para poder trabajar con explosivos comerciales, tal como el tovox-100.

Por último, es conveniente recordar que las cargas obtenidas por el criterio "militar" no serán las adecuadas, ya que no se ha considerado el acero de refuerzo existente en los elementos, por lo que se deberán realizar pruebas para calibrar las cargas de tal forma que se obtenga una fragmentación adecuada y a su vez una mutilación del acero, provocando una discontinuidad en el elemento tratado.

#### 4.3.- ANALISIS ECONOMICO.

Una vez que se ha determinado demoler la estructura, se procede a seleccionar el sistema adecuado para tal; esto se realiza, principalmente, a través de una comparación económica, entre otros puntos.

A continuación, se presenta un análisis de costos, que en forma general, representarán demoler el inmueble, por medio de dos sistemas, el "tradicional" y el de "explosivos".

##### 4.3.1.- Demolición tradicional.

a).- Cantidades de obra:

- Demolición:

Muros de concreto	2,080 m <sup>3</sup>
Columnas	2,400 m <sup>3</sup>
Trabes	5,000 m <sup>3</sup>
Losas	7,100 m <sup>3</sup>
Muros de tabique	630 m <sup>3</sup>
- Protección perimetral	867 m <sup>2</sup>
- Remoción y apile	17,210 m <sup>3</sup>
- Carga	17,210 m <sup>3</sup>
- Acurreo	17,210 m <sup>3</sup>

b).- Cotización de mano de obra (mayo de 1988)

Oficio	Salario diario
Peón	\$ 9,990.00
Ayudante de operación	10,500.00
Operador de compresora	12,962.00
Operador de rompedora	13,102.00
Carpintero	13,297.00
Electricista	14,100.00
Perforista	14,100.00
Oficial albañil	14,298.00
Ayudante de barrenación	15,185.00
Cabo de barrenación	21,731.00

c).- Cotización de equipo (renta semanal)

Compresor 900 pcm	\$ 812,500.00
Perforadora	30,970.00
Rompedora	33,100.00
Tractor D-8	2'200,000.00

## d).- Estimaciones.

## - Protección perimetral

Mano de obra:

$$\frac{\text{Carpintero} + \text{Ayudante}}{8 \text{ m}^2 / \text{Jor}} = \frac{\$ 23,797.00/\text{Jor}}{8 \text{ m}^2 / \text{Jor}} = \$ 2,975.00/\text{m}^2$$

Herramienta:

$$3\% (2,975) = 89.00/\text{m}^2$$

Material:

$$\text{Triplay } 3/4'' \quad \$ 10,590.00/\text{m}^2 \div 6 \text{ usos} = 1,765.00/\text{m}^2$$

Malla ciclón, calibre 12.5 (5.5 x 5.5 x 100 cm)

$$\$ 1,760.00/\text{m}^2 \div 10 \text{ usos} = 176.00/\text{m}^2$$

$$\Sigma = \$ 5,005.00/\text{m}^2$$

$$\$ 5,005.00/\text{m}^2 \times 867 \text{ m}^2 = \underline{\$ 4,339,335.00}$$

## - Demoliciones

## 1.- Muros de concreto.

Mano de obra:

$$\frac{1/10 \text{ cabo} + 2 \text{ peones}}{1.2 \text{ m}^3 / \text{Jor}} = \frac{\$ 21,410.00/\text{Jor}}{1.2 \text{ m}^3 / \text{Jor}} = \$ 17,842.00/\text{m}^3$$

Acarreo:

$$\frac{1/10 \text{ cabo} + \text{peón}}{5.0 \text{ m}^3 / \text{Jor}} = \frac{\$ 11,420.00/\text{Jor}}{5.0 \text{ m}^3 / \text{Jor}} = 2,284.00/\text{m}^3$$

Herramienta:

$$3\% (20,126) \text{ -----} = 604.00/\text{m}^3$$

$$\Sigma = \$ 20,730.00/\text{m}^3$$

2.- Columnas

$$\text{Igual al punto anterior} \text{ -----} \Sigma = \$ 20,730.00/\text{m}^3$$

3.- Trabes

Mano de obra:

$$\frac{1/10 \text{ cabo} + 2 \text{ peones}}{2.5 \text{ m}^3 / \text{Jor}} = \frac{\$ 21,410.00/\text{Jor}}{2.5 \text{ m}^3 / \text{Jor}} \text{ -----} = \$ 8,564.00/\text{m}^3$$

$$\text{Acarreo:} \text{ -----} = 2,284.00/\text{m}^3$$

Herramienta:

$$3\% (10,848) \text{ -----} = 325.00/\text{m}^3$$

$$\Sigma = \$ 11,173.00/\text{m}^3$$

4.- Losas.

Mano de obra:

$$\frac{1/10 \text{ cabo} + 2 \text{ peones}}{4.0 \text{ m}^3 / \text{Jor}} = \frac{\$ 21,410.00/\text{Jor}}{4.0 \text{ m}^3 / \text{Jor}} \text{ -----} = \$ 5,352.00/\text{m}^3$$

$$\text{Acarreo:} \text{ -----} = 2,284.00/\text{m}^3$$

Herramienta:

$$3\% (7,636) \text{ -----} = 229.00/\text{m}^3$$

$$\Sigma = \$ 7,865.00/\text{m}^3$$

$$1.- \$ 20,730.00/\text{m}^3 \times 2,080 \text{ m}^3 = \$ 43,118,400.00$$

$$2.- \$ 20,730.00/m^3 \times 2,400 m^3 = \$ 49,752,000.00$$

$$3.- \$ 11,173.00/m^3 \times 5,000 m^3 = \$ 55,865,000.00$$

$$4.- \$ 7,865.00/m^3 \times 7,100 m^3 = \$ 55,841,500.00$$

$$\Sigma = \$ 204,576,900.00$$

- Muros de tabique.

Mano de obra:

$$\frac{1/10 \text{ cabo} + \text{peñ}}{6.0 m^3 / \text{Jor.}} = \frac{\$ 11,420.00/\text{Jor.}}{6.0 m^3 / \text{Jor.}} = \$ 1,903.00/m^3$$

$$\text{Acarreo:} \underline{\hspace{10em}} = 2,284.00/m^3$$

Herramienta:

$$3\% (4,187) \underline{\hspace{10em}} = 126.00/m^3$$

$$\Sigma = \$ 4,313.00/m^3$$

$$\$ 4,313.00/m^3 \times 630 m^3 = \$ 2,717,190.00$$

$$\text{T O T A L} = \underline{\underline{\$ 207,294,090.00}}$$

#### 4.3.2.- Demolición con explosivos.

a).- Cantidades de obra:

- Demoliciones.

Muros de concreto	2,080 m <sup>3</sup>
Muros de tabique	630 m <sup>3</sup>
- Barrenación de columnas	540 m
- Carga y conexiones	329,631 Kgs.
- Colocación de cables	868 m
- Protección de columnas	1,140 m <sup>2</sup>
- Protección perimetral	2,470 m <sup>2</sup>

- Protección exterior (con tezonle, talud 1:1- 2.0 x 2.0 mts) _____	434 m <sup>3</sup>
- Remoción y apile _____	17,210 m <sup>3</sup>
- Carga _____	17,210 m <sup>3</sup>
- Acarreo _____	17,210 m <sup>3</sup>

## b).- Cotización de mano de obra.

Igual al inciso b del punto 4.3.1.

## c).- Cotización de equipo.

Igual al inciso c del punto 4.3.1.

## d).- Cotización de materiales.

- Tovex-100 (explosivo) _____	\$ 2,813.00/Kg
- Estopines _____	1,534.00/Pza
- Alambre calibre 14 _____	120.00/m
- Triplay 3/4" (esp.) _____	10,590.00/m <sup>2</sup>
- Malla ciclón calibre 12.5 (5.5 x 5.5 x 100 cm) _____	1,760.00/m <sup>2</sup>
- Tezonle _____	9,405.00/m <sup>3</sup>
- Cable de acero de 3/4" Ø _____	5,022.00/m
- Barra de acero de 1 3/8" x 3' _____	120,000.00/Pza

## e).- Estimaciones.

## - Demoliciones

Muros de concreto \_\_\_\_\_ = \$ 45'118,400.00

Muros de tabique \_\_\_\_\_ = 2'717,190.00

 $\Sigma = \underline{\$ 45'835,590.00}$ 

## - Barreración de columnas

Mano de obra:

$$\frac{\text{Perforista} + \text{Ayudante}}{5.0 \text{ m / Jor}} = \frac{\$ 24,600.00/\text{Jor}}{5.0 \text{ m / Jor}} = \$ 4,920.00/\text{m}$$

Herramienta:

$$\$ (4,920) = 246.00/\text{m}$$

Equipo:

Perforadora:

$$\frac{\$ \text{ perf. / Jor}}{5.0 \text{ m/Jor}} = \frac{\$ 5,162.00/\text{Jor}}{5.0 \text{ m/Jor}} = 1,032.00/\text{m}$$

Acero de barrenación:

$$\frac{\$ \text{ barra}}{300 \text{ m/barra}} = \frac{\$ 120,000.00/\text{barra}}{300 \text{ m/barra}} = 400.00/\text{m}$$

Compresora:

$$\frac{\$ \text{ comp./Jor} \times \text{aire/unidad}}{\text{pot.comp} \times 5.0 \text{ m/Jor}} = \frac{\$ 135,417.00/\text{Jor} \times 112 \text{ p.c.m.}}{900 \text{ p.c.m.} \times 5 \text{ m/Jor}} = 3,370.00/\text{m}$$

Operación compresora:

$$\frac{\text{Op. comp} + \text{Ayudante}}{10 \text{ unid/comp} \times 5 \text{ m/Jor}} = \frac{\$ 23,462.00/\text{Jor}}{10 \times 5} = 469.00/\text{m}$$

$$\Sigma = \$ 10,437.00/\text{m}$$

$$\$ 10,437.00/\text{m} \times 540 \text{ m} = \underline{\underline{\$ 5,635,980.00}}$$

- Carga y conexiones.

Mano de obra:

$$\frac{\text{Cabo barr.} + \text{Elec.} + 2 \text{ Ayudantes}}{20 \text{ barr/Jor}} = \frac{\$ 66,197.00/\text{Jor}}{20 \text{ barr/Jor}} = \$ 3,310.00/\text{barr}$$

Herramienta:

$$\$ (3,310) = 166.00/\text{barr}$$

## Materiales:

$$\frac{\text{carga total}}{\text{barreros cargados}} = \frac{229.631 \text{ Kgs}}{549 \text{ barr}} = 0.418 \text{ Kg/barr.}$$

barreros cargados 549 barr

$$\$ 2,813.00/\text{Kg} \times 0.418 \text{ Kg/barr} = 1,176.00/\text{barr}$$

$$\$ 1,534.00/\text{estopin} \times 1.0 \text{ estopin/barrero} = 1,534.00/\text{barr}$$

## Alambre calibre 14

$$\$ 120.00/\text{m} \times 5.0 \text{ m/barr} = 600.00/\text{barr}$$

$$\Sigma = \$ 6,786.00/\text{barr}$$

$$\$ 6,786.00/\text{barr} \times 549 \text{ barr} = \$ 3,725,514.00$$

## - Colocación de cables.

## Mano de obra:

$$\frac{1/10 \text{ cabo} + \text{Ayudante}}{20 \text{ m/Jor}} = \frac{\$ 11,930.00/\text{Jor}}{20 \text{ m/Jor}} = \$ 597.00/\text{m}$$

## Herramienta:

$$5\% (597) = 30.00/\text{m}$$

## Material:

$$\text{Cable de acero } 3/4'' \text{ } \varnothing = 5,022.00/\text{m}$$

$$\Sigma = \$ 5,649.00/\text{m}$$

$$\$ 5,649.00/\text{m} \times 868 \text{ m} = \$ 4,903,332.00$$

## - Protección de columnas.

## Mano de obra:

$$\frac{\text{Carpintero} + \text{Ayudante}}{6.5 \text{ m}^2/\text{Jor}} = \frac{\$ 23,797.00/\text{Jor}}{6.5 \text{ m}^2/\text{Jor}} = \$ 3,661.00/\text{m}^2$$

## Herramienta:

$$5\% (3,661) = 110.00/\text{m}^2$$

## Materiales:

Triplay 3/4" (espesor)	=	10,590.00/m <sup>2</sup>
Malla ciclón calibre 12.5	=	1,760.00/m <sup>2</sup>
	Σ =	\$ 16,121.00/m <sup>2</sup>

$$\$ 16,121.00/m^2 \times 1,140 \text{ m}^2 = \underline{\$ 18,377,940.00}$$

## - Protección perimetral.

## Mano de obra:

<u>Carpintero + Ayudante</u>	=	<u>\$ 23,797.00/Jor</u>	=	\$ 2,975.00/m <sup>2</sup>
8.0 m <sup>2</sup> /Jor		8.0 m <sup>2</sup> /Jor		

## Herramienta:

3% (2,975)	=	89.00/m <sup>2</sup>
------------	---	----------------------

## Material:

Triplay 3/4" (espesor)	=	10,590.00/m <sup>2</sup>
Malla ciclón calibre 12.5	=	1,760.00/m <sup>2</sup>
	Σ =	\$ 15,414.00/m <sup>2</sup>

$$\$ 15,414.00/m^2 \times 2,470 \text{ m}^2 = \underline{\$ 38,072,580.00}$$

## - Protección exterior.

## Mano de obra:

<u>1/10 cabo + peón</u>	=	<u>\$ 11,420.00/Jor</u>	=	\$ 2,284.00/m <sup>3</sup>
5.0 m <sup>3</sup> /Jor		5.0 m <sup>3</sup> /Jor		

## Herramienta:

3% (2,284)	=	69.00/m <sup>3</sup>
------------	---	----------------------

## Material:

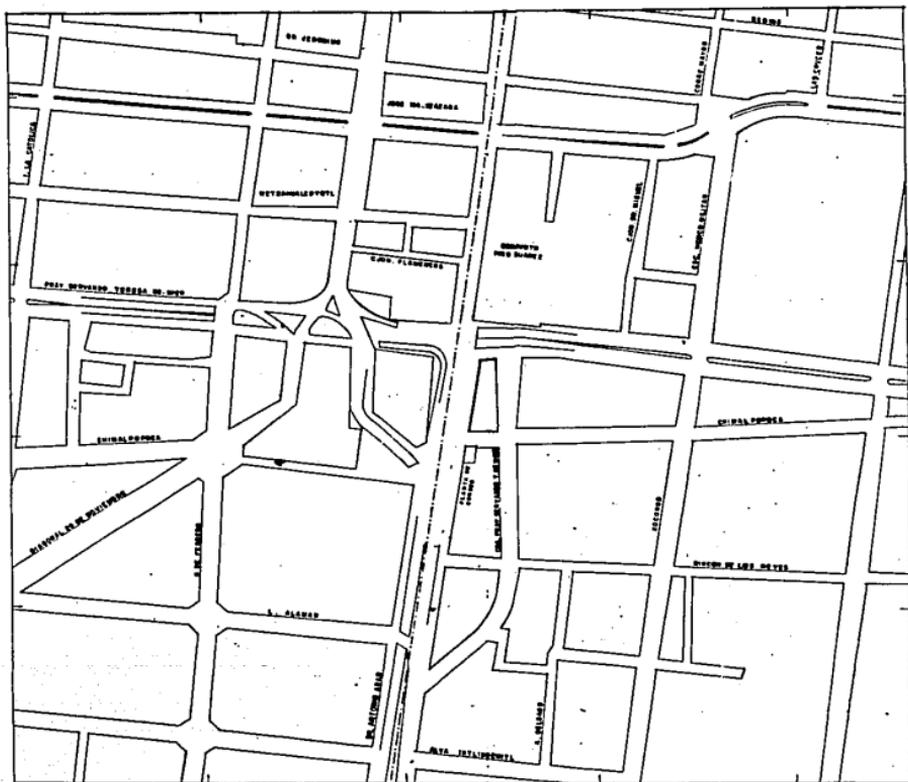
Tezontle	=	9,495.00/m <sup>3</sup>
	Σ =	\$ 11,848.00/m <sup>3</sup>

$$\$ 11,848.00/m^3 \times 434 \text{ m}^3 = \underline{\$ 5,142,032.00}$$

T O T A L: = \$ 121'692,968.00

La reducción de costos mediante una demolición con explosivos es de un - - 58.7% aproximadamente respecto al monto correspondiente a una demolición tradicio--  
nal. Por otra parte, es comprensible que el tiempo de demolición con explosivos --  
es, por mucho, menor al necesario para una demolición tradicional.

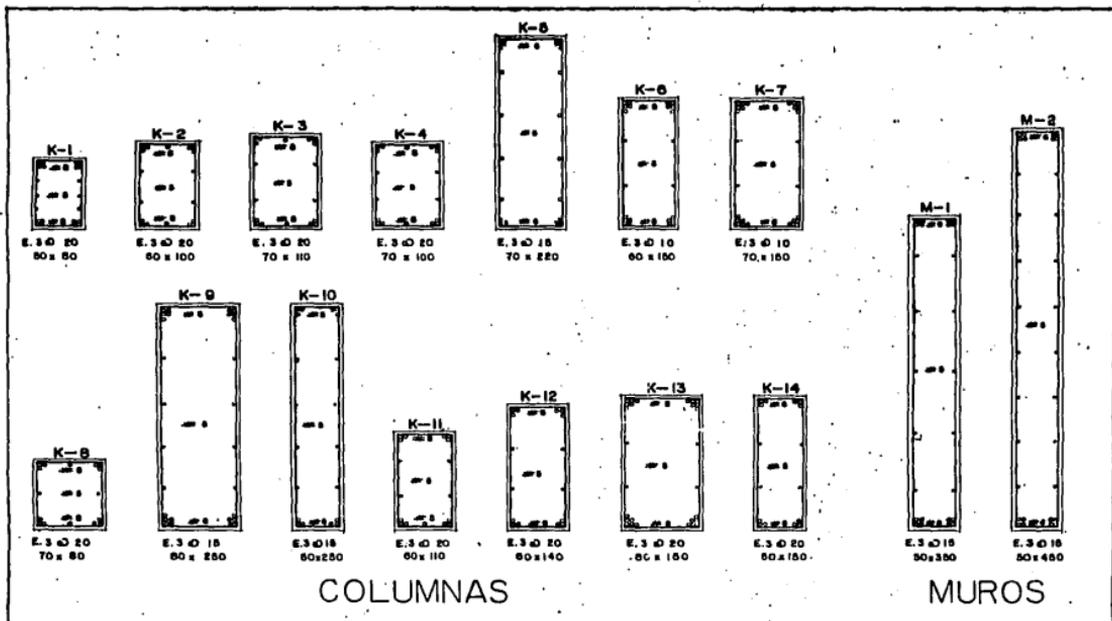
Se hace notar que en el presente análisis, no se incluyen los importes por concepto de remoción y apile, carga y acarreo, ya que estas actividades son comu--  
nes en ambos procedimientos.



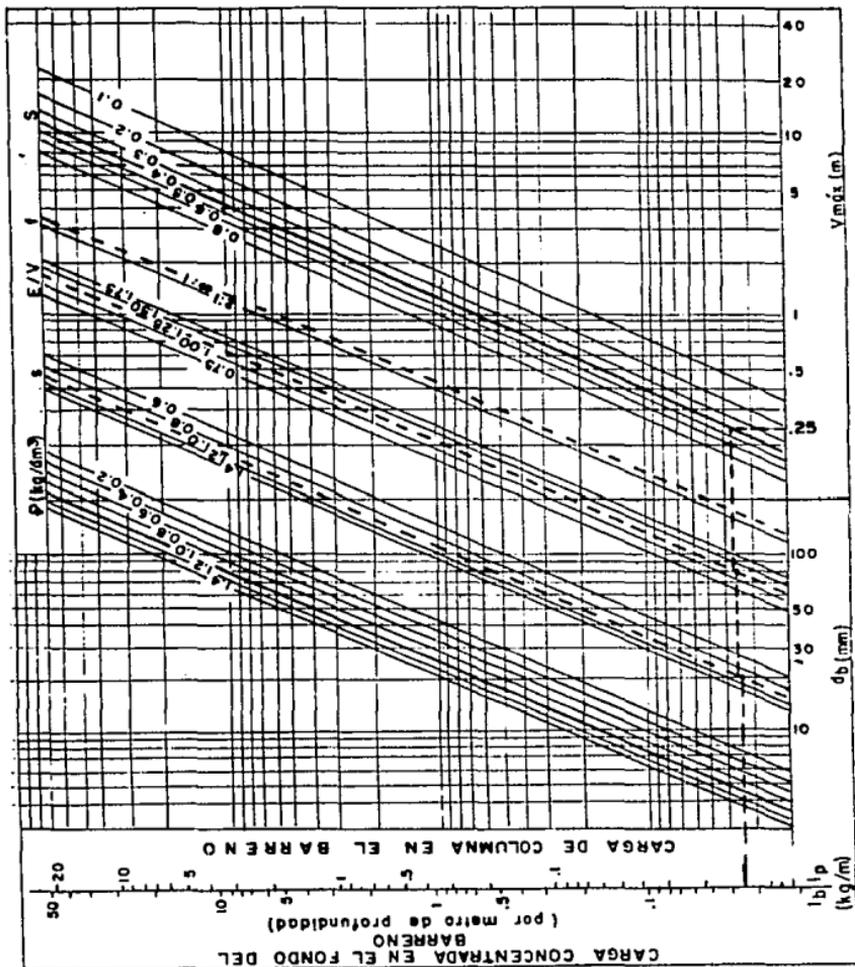
CROQUIS DE LOCALIZACION

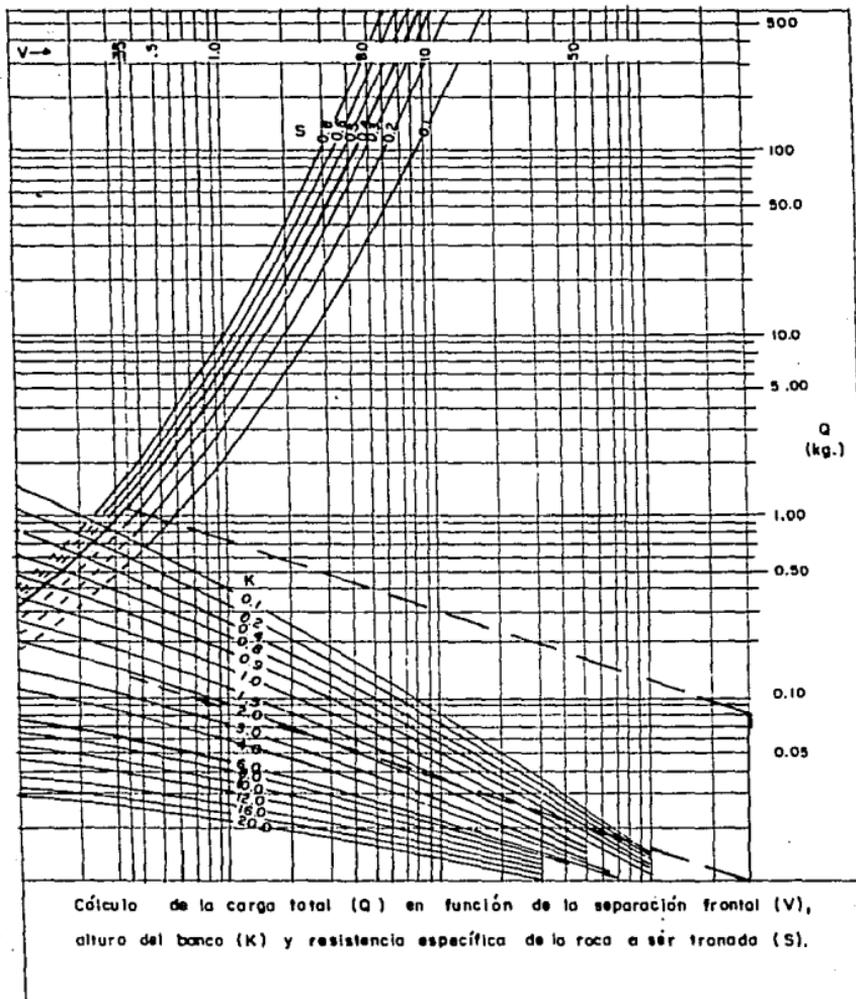






SECCIONES TÍPICAS DE  
COLUMNAS Y MUROS





## **CAPITULO V**

### **DETERMINACION DEL SISTEMA**

#### **5.1.- ESTIMACION DE TIEMPOS DE DETONACION**

#### **5.2.- DISEÑO ELECTRI CO DEL SISTEMA**

## V.- DETERMINACION DEL SISTEMA.

A continuación, se expone básicamente el criterio para determinar la secuencia de detonación en los estopines para lograr con ello direccionar la caída, principalmente. Asimismo, se presenta la solución propuesta para realizar las conexiones de los estopines de acuerdo al tiempo de detonación, siendo este punto, el último a considerar dentro del aspecto técnico en trabajos de demolición con explosivos.

### 5.1.- ESTIMACION DE TIEMPOS DE DETONACION.

El direccionamiento elegido para la caída es el punto rector de los tiempos de detonación, ya que éste nos indica el desfaseamiento de tiempos que habrá en los estopines de cada columna tratada con explosivos.

En nuestro caso, se ha considerado direccionar la caída del inmueble hacia el este de acuerdo a las condiciones citadas en el capítulo anterior, por lo que, a primera instancia, los tiempos CERO se registrarán en el eje "A" del edificio, consecuentemente el tiempo uno en el eje "B" y así sucesivamente.

Por otra parte, la diferencia de tiempos en las detonaciones, es decir el lapso que transcurre entre una detonación y otra, requiere de un análisis dinámico de la estructura conforme se vayan eliminando sus apoyos y con ello poder controlar y encaminar los desplazamientos del edificio hacia la dirección proyectada. En realidad, el lapso entre la primera y última detonación es tan corto que, en la práctica, solo basta dar una secuencia lógica que garantice, por un lado, la dirección correcta de la caída y por otro controlar el esparcimiento del material.

Para el edificio en estudio, la secuencia de tiempos propuesta es la siguiente:

- En cajón - cimentación (solo columnas centrales y eje "11")

T = 0 , en el eje "B"

T = 1 , en el eje "C"

T = 2 , en el eje "D"

- En planta sótano (solo columnas centrales y eje "11")

T = 1 , en el eje "B"

T = 2 , en el eje "C"

T = 3 , en el eje "D"

- En planta baja.

T = 2 , en ejes "A" y "B"

T = 3 , en el eje "C"

T = 4 , en ejes "D" y "E"

- En nivel 2

T = 3 , en ejes "A" y "B"

T = 4 , en el eje "C"

T = 5 , en ejes "D" y "E"

- En nivel 5

T = 4 , en ejes "A" y "B"

T = 5 , en el eje "C"

T = 6 , en ejes "D" y "E"

La distribución anterior busca obtener que, primeramente, el inmueble se derumbe sobre sí mismo y con ello alojar un gran volumen en el cajón-cimentación y sótano, pero al mismo tiempo se tendrá una marcada tendencia de deslizamiento hacia el este, obteniéndose finalmente poca dispersión de material.

En otro aspecto, como se mencionó anteriormente, se colocarán explosivos en columnas cuyos barrenos varían de 2 a 4; así, en el caso de una columna con cuatro - barrenos, se colocarán igual número de estopines los cuales detonarán simultáneamente y en el tiempo asignado a dicha columna.

El lapso de tiempo entre las detonaciones será de 50 milisegundos en todos los casos, excepto entre los ejes "A" y "B", donde el primero sea tratado, siendo el

mismo tiempo de detonación en este caso.

Finalmente, la colocación de cables es práctica común en este tipo de trabajos para ayudar a direccionar la caída; en nuestro caso, la colocación de cables se muestra en el anexo V-1. Esta distribución se realizará en los niveles 3 y 6; a su vez, dicha distribución está regida por la secuencia de detonación asignada, ya que al unir mediante cables a columnas con distintos tiempos de detonación se generará un "jaloneo" de columnas con tendencia hacia los primeros tiempos.

#### 5.2.- DISEÑO ELECTRICO DEL SISTEMA.

Para la selección del circuito eléctrico a emplear en este trabajo, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Número total de estopines a disparar.
- Características del explosor a emplear, y
- Tipo de operación del sistema seleccionado.

En la tabla 5.2.1 se presenta el número de estopines por columna según el nivel, así como el total a emplear.

N I V E L	# ESTOPINES POR COLUMNA	TOTAL DE COLUMNAS	TOTAL DE ESTOPINES
Cajón - Ciment.	3	26	78
Sótano	4	25	100
Planta baja	3	53	159
Segundo	2	53	106
Quinto	2	53	106
		T O T A L	549

TABLA 5.2.1. Distribución de estopines por columna.

En cuanto al tipo de explosor a emplear, a continuación se expone el diagrama de bloques del Sistema Explosor Electrónico de Línea (SEEL), considerado para nuestro caso.

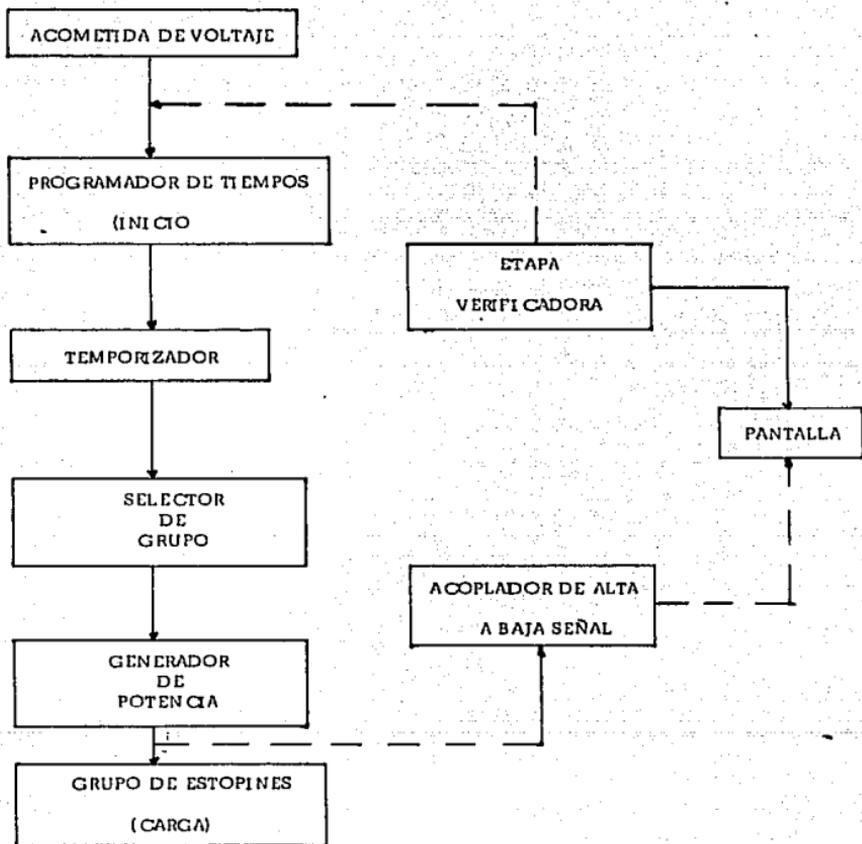


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SEEL.

### 1.- Acometida de Voltaje.

Es el suministro de energía eléctrica que requiere para su funcionamiento, el Sistema Explosor Electrónico de Línea (SEEL). Diseñado para ser alimentado a -- 127 volts de corriente alterna, 60 Hz que suministra la Cía. de Luz y Fuerza del Centro, y corregido para soportar hasta un 2% de regulación de voltaje para la transmisión de los disparos (a 170 m.) de la carga (o grupos de estopines).

El SEEL cuenta con una etapa de reducción de voltaje y rectificación del mismo, para alimentar a los distintos Circuitos Integrados, que forman parte del sistema electrónico de control.

### 2.- Programador de Tiempos.

Es la inicialización del sistema, aquí se programa al SEEL, introduciendo el número de grupos y la secuencia a la cual se desea que sean activados. El número de grupos (40 estopines por grupo), depende de la circuitería del SEEL, pudiendo manejar en su etapa inicial 5 series, incrementandose, según los requisitos que demande el proyecto.

### 3.- Temporizador.

En la etapa de control, el temporizador esta formado por una serie de circuitos integrados denominados como contadores, éstos se encargan de recoger la señal de programación y mandar una serie de pulsos de voltaje a medida que transcurre el tiempo o secuencia de programación.

### 4.- Selector de Grupo.

Una vez enviados los pulsos, el selector de grupo se encarga de activar al grupo de estopines de acuerdo al tiempo de programación, inhibiendo al resto, para su posterior activación.

### 5.- Generador de Potencia.

Es la etapa donde, a partir del selector de grupo, el cual ya ha sido reconocido, envía por medio de la línea, una señal pequeña, de encendido, al Generador de Potencia (Generalmente es un rectificador controlado por Silicio). El cual se encarga de suministrar un pulso de corriente de hasta 16 Amperes, necesarios para disparar los grupos de estopines.

#### 6.- Grupo de Estopines.

Denominado como la carga, esta formado por elementos explosivos los cuales se disparan al recibir el pulso de corriente, emitido por el Generador de Potencia.

#### 7.- Etapa Verificadora.

Es la etapa que se encarga de verificar al SEEL sin necesidad de acoplar la carga, al ser puesto en marcha, recoge mediciones de voltaje a la entrada del sistema, tiempos de disparo, y corriente de salida.

#### 8.- El Acoplador.

De Alta Señal a Baja Señal, nos da el enlace entre el sistema que maneja una señal de corriente elevada, reduciéndola y acoplándola a la pantalla, que maneja para su funcionamiento, señales de baja potencia.

#### DETERMINACION DEL NUMERO DE SERIES.

Según la capacidad del SEEL, se tiene que para una resistencia de línea de encendido de 5 ohms y 549 estopines se requieren de 14 series en paralelo mínimo, esto es, considerando 40 estopines por serie. Además, como quedo asentado anteriormente, se ha considerado realizar la demolición en 7 tiempos. En la tabla 5.2.2 se exponen los tiempos y el número de estopines correspondientes a estos, según el nivel tratado.

NIVEL	T 0	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T O T A L
Cajón - Ciment.	33	36	9	-	-	-	-	78
Sótano	-	40	48	12	-	-	-	100
Planta Baja	-	-	72	39	48	-	-	159
Segundo	-	-	-	48	26	32	-	106
Quinto	-	-	-	-	48	26	32	106
T O T A L	33	76	129	99	122	58	32	549

TABLA 5.2.2 Estopines y tiempos correspondientes por nivel.

Considerando un máximo de 40 estopines por serie, se procede a realizar -- las siguientes tablas.

T 0	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
33	38	33	33	30	29	32
	38	30	36	30	29	
		33	30	31		
		33		31		

SERIE	T 0	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
1	X						
2		X					
3		X					
4			X				
5			X				
6			X				
7			X				
8				X			
9				X			
10				X			
11					X		
12					X		
13					X		
14					X		
15						X	
16						X	
17							X

Por lo anterior, se decide realizar 17 series en paralelo con un mínimo de 29 estopines y máximo de 38 estopines por serie, dichas series se presentan en los anexos V - 2 al V - 6.

#### ANÁLISIS QUÍMICO

Serie mayor 38 estopines (series 2 y 3)

Serie menor 29 estopines (series 15 y 16)

Diferencia = 9 estopines

$$\% \text{ DIFERENCIA} = \frac{9}{29} \times 100 = 31.03 \%$$

Como en estos casos el máximo de diferencia aceptable es el 10%, se deben balancear las series, para lo cual se emplearan resistencias de cerámica en los puntos críticos de acuerdo a las mediciones que se realicen, ajustandolos al rango - óptimo.

Una vez balanceado el sistema de series en paralelo, procedemos a calcular la resistencia del sistema de la siguiente forma:

$$R = \frac{\text{Resistencia / serie}}{\text{No. - Series}} \quad \text{donde:}$$

Resistencia / serie es la mayor serie (38) por la resistencia en ohms de los estopines.

Para nuestro caso, se considerarán estopines ATLAS EB Timmaster cuya resistencia es de 1.9 ohms, por lo tanto:

$$R = \frac{38 \times 1.9}{17} = 4.24 \text{ ohms.}$$

Calculando la resistencia de la línea de alimentación y en base a las características del cable calibre 14 THW, tenemos:

Distancia de línea de alimentación por lado = 250 mts.

$$R = (250 \times 2) \frac{8.4}{1000} = 4.2 \text{ ohms.}$$

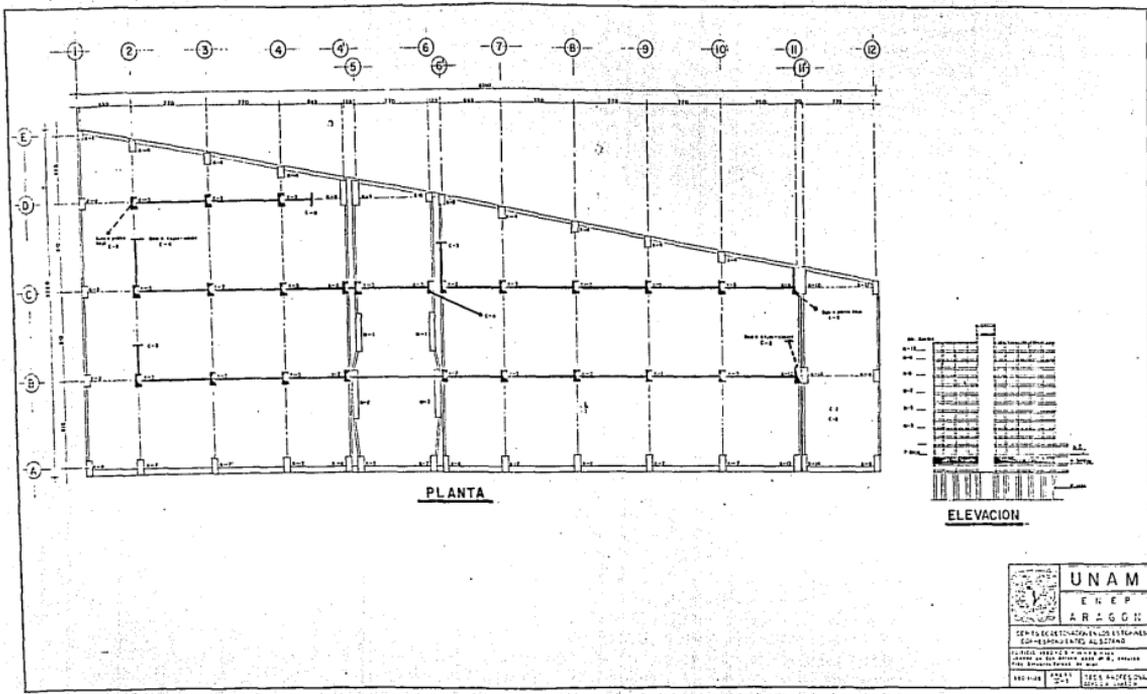
Finalmente, la resistencia total del circuito será:

$$R = R + R = 4.24 + 4.20 = 8.44 \text{ ohms.}$$

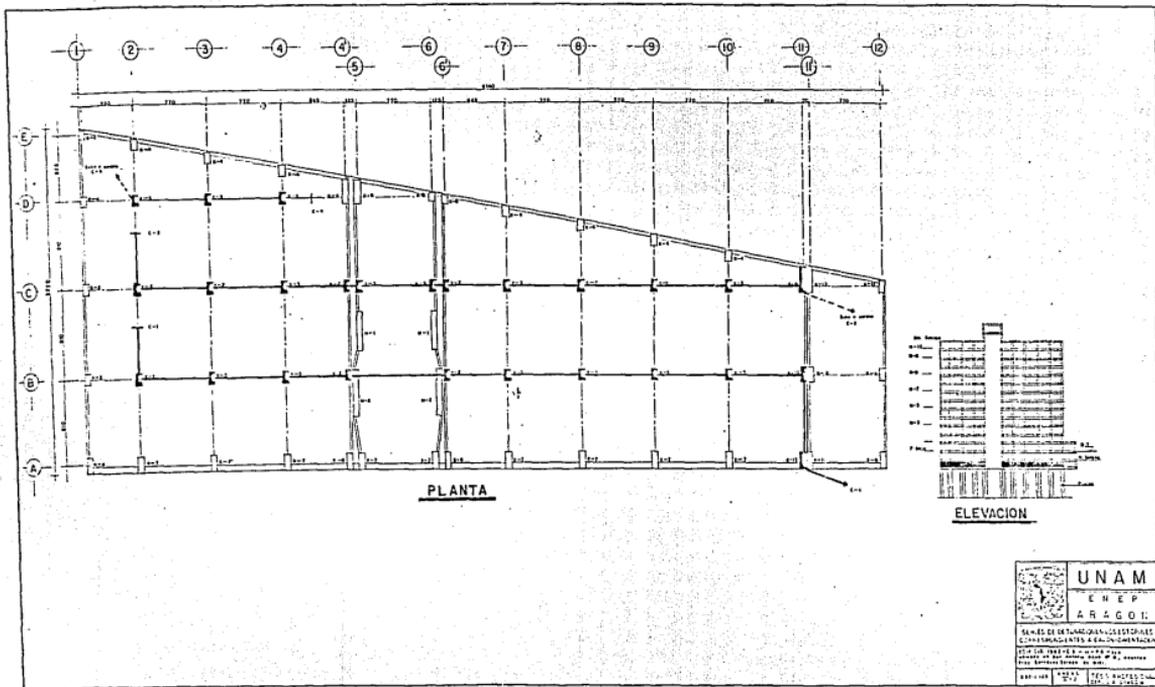
De acuerdo al resultado anterior y auxiliandonos con la curva caracterfstica de carga: resistencia total vs. corriente (anexo V - 7), obtenemos la corriente de línea que en nuestro caso corresponde a una lectura de 12 amperes aproximadamente.

El cable calibre 14 THW soporta 15 amperes hasta temperaturas de 75° C. -- por lo que, además de aceptarse el cable, no se presentarán problemas de operación.





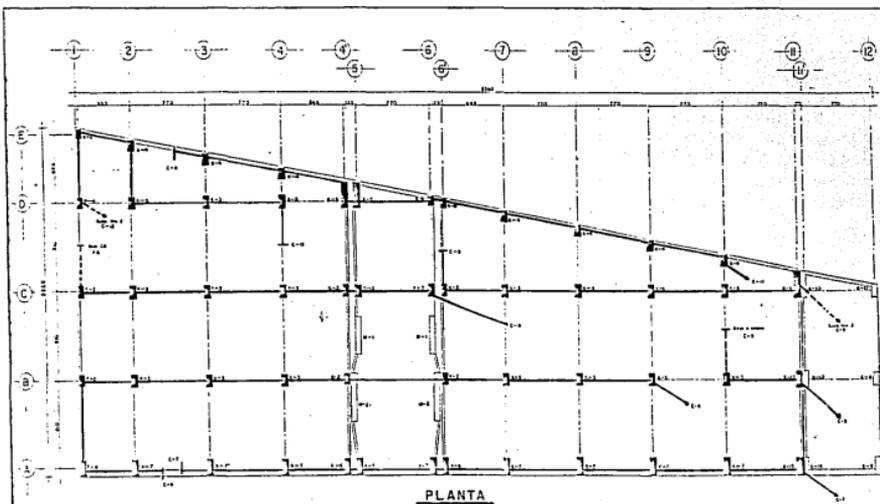
**UNAM**  
**ENCP**  
**ARRCCH**  
 CENTRO DE ESTUDIOS Y SERVICIOS  
 DE INVESTIGACIONES Y ASISTENCIA  
 TECNICA Y ADMINISTRATIVA  
 DE LA UNAM  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE INVESTIGACIONES  
 EN CIENCIAS Y LETRAS  
 DE LA UNAM  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ASISTENCIA  
 TECNICA Y ADMINISTRATIVA  
 DE LA UNAM



**UNAM**  
**ENEP**  
**ARAGOI**

SEDES DE ENSEÑANZA COORDINADAS  
 CARRANDELLAS Y SAN VICENTE

ESTADO DE QUERÉTARO  
 AV. SAN VICENTE, S/N. P.O. BOX 100  
 TEL. 011-525-2211

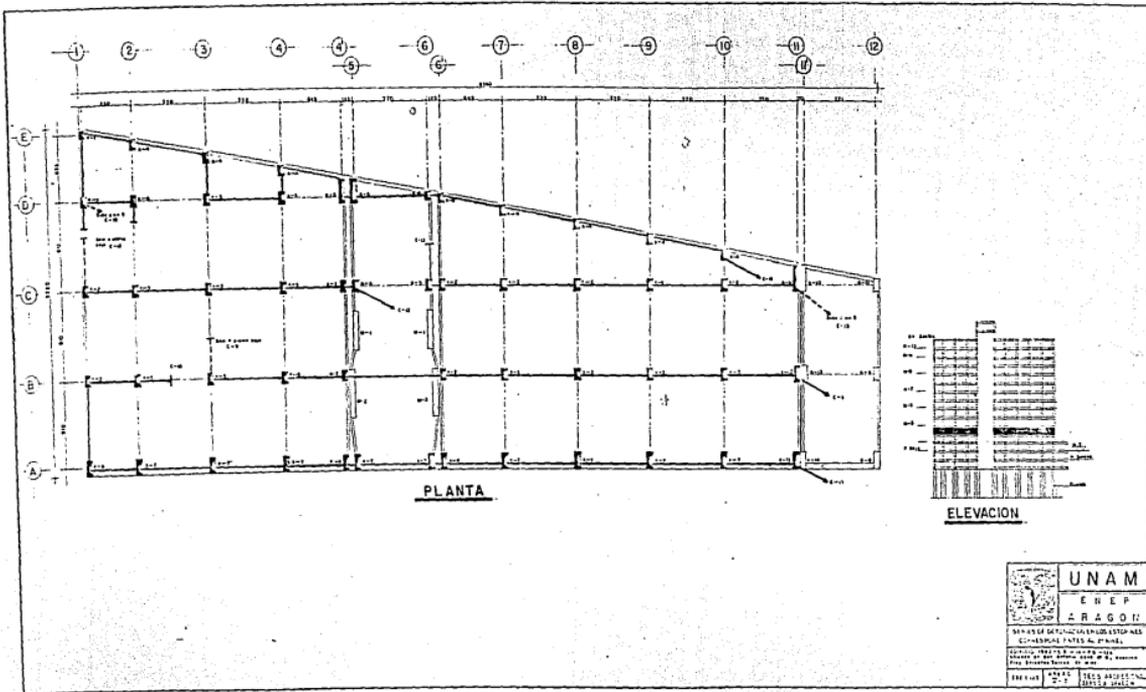


**PLANTA**



**ELEVACION**

	<b>UNAM</b>
	ENCP ARAGON
DISEÑO DE LA LEYENDA DE PLANOS Y SECCIONES DISEÑO DE LOS PLANOS DE LA PLANTA BAJA	
DISEÑO DEL PROYECTO DE LA PLANTA BAJA DISEÑO DE LOS PLANOS DE LA PLANTA BAJA	
1980-1981 TITULO TESIS PROFESIONAL	1980-1981 TITULO TESIS PROFESIONAL



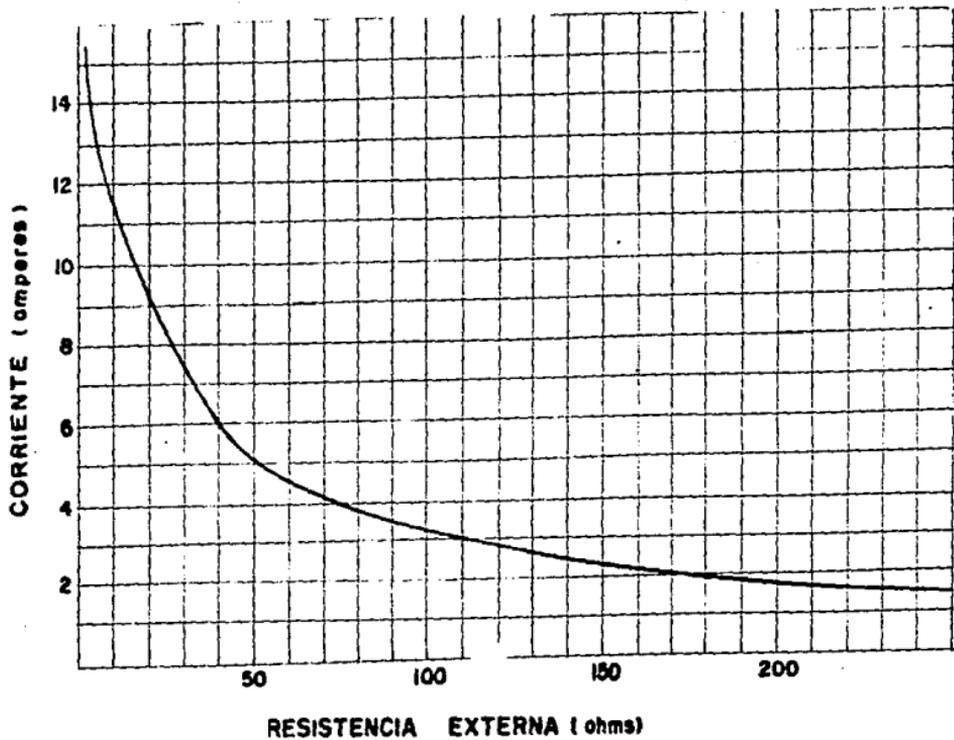
**UNAM**  
**ENEP**  
**ARAGON**

SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA  
 CENTRO NACIONAL DE ENFERMERIA  
 AV. DE LA ESTACION 1000, CDMX.  
 TELEFONO: 562 2000  
 DIRECCION GENERAL DE ENFERMERIA  
 AV. DE LA ESTACION 1000, CDMX.  
 TELEFONO: 562 2000



# ANEXO V-7

Gráfica: RESISTENCIA EXTERNA --- CORRIENTE



## CAPITULO VI

### OTRAS APLICACIONES

6.1.- VOLADURA DE ESTRUCTURAS ANTIGUAS

6.2.- REMOCION DE PRESAS

6.3.- DEMOLICION DE PUENTES

6.4.- CORTE DE MADERA ESTRUCTURAL

## VI.- OTRAS APLICACIONES.

La aplicación de los explosivos, en el campo de la ingeniería civil, es relativamente escasa, enfocándose principalmente a usos militares, aunque, como quedó expuesto anteriormente, es posible el uso de los explosivos en trabajos civiles, no solo para realizar demoliciones, sino también en trabajos de cantera en donde el uso de explosivos está a la orden del día, en la perforación de túneles e incluso para lograr la ruptura de elementos de acero estructural. Resultaría muy extenso mencionar, en el presente trabajo, la gama de posibles usos en el campo de la ingeniería civil, por lo que se mencionarán, sino los más importantes, sí los más relevantes en cuanto a su aplicación.

### 6.1.- VOLADURA DE ESTRUCTURAS ANTIGUAS.

Los muros y las cimentaciones antiguas, tanto de tabique como de concreto, pueden removerse más económicamente mediante explosivos, siempre y cuando la losa de mampostería tenga cuando menos 8 pulgadas de espesor. Con un espesor menor a éste, el quebrado a través de medios mecánicos es usualmente más práctico.

Los muros de tabique son, por lo general, más fáciles de disparar que los de concreto. El método preferido es perforar una hilera de barrenos cerca del muro y aproximadamente a  $3/4$  partes de la distancia. Como regla general, el espaciamiento entre los barrenos varía entre 3 y 4 pies, y la carga entre  $1/2$  a 1 cartucho de dinamita, dependiendo de la condición del muro y de la posibilidad del daño a estructuras en la vecindad. El mejor procedimiento es efectuar unos pequeños disparos de prueba y un factor de carga de 0.25 a  $0.50 \text{ lb/yd}^3$  -- puede servir como guía. El explosivo puede ser casi de cualquier

grado de potencia media que se encuentre fácilmente en cartuchos de 1 1/4 por 8 pulgadas. Se prefiere la gelatina, donde se va a utilizar menos de un cartucho por barreno, debido a la facilidad de manejo. Con muros de más de 5 pies de altura, probablemente se necesitan hileras horizontales de barrenos para romper la mampostería a un tamaño adecuado para su manejo.

Con elementos de concreto, se sigue el mismo procedimiento que para los de tabique, excepto que, por lo general, se requiere más dinamita y se deben emplear espaciamientos menores. El concreto reforzado es aún más difícil de disparar y se puede esperar una cantidad considerablemente mayor de proyectiles. Además de las cargas comparativamente grandes, a menudo se utiliza una antorcha de oxiacetileno para cortar las varillas de refuerzo, aunque ésta se pudiera salvar realizando algunos disparos y aumentar la carga en función de los resultados obtenidos.

Los barrenos deben cebarse con estopines eléctricos. Si no hay posibilidad de daño a la propiedad vecina, todos los barrenos pueden dispararse al mismo tiempo, de otro modo, tienen que dispararse grupos más pequeños de barrenos o en casos extremos uno solo a la vez.

Deben colocarse enfrente de la voladura o sobre ella, mallas de voladura o un fuerte entarimado para reducir el lanzamiento de fragmentos de mampostería.

Para remover cimentaciones de concreto dentro de un edificio, en particular si existe otra maquinaria en la vecindad, es necesario tener gran cuidado en el uso de los explosivos. Es mejor disparar --

un solo barreno a la vez y que contenga únicamente una pequeña carga o varias pequeñas cargas separadas. Se usan, por lo regular, barrenos verticales que se extienden a casi todo lo largo de la cimentación, a menos que la carga de explosivos sea demasiado fuerte para la localización particular. Es mejor emplear más barrenos sobre espaciamentos cercanos, tales como 2 1/2 a 3 pies, que menos barrenos -- más separados. Si la cimentación es muy gruesa, es indispensable removerla mediante banqueo en una o más etapas de 3 a 4 pies cada una según se requiera.

En todos los casos debe proporcionarse amplia protección a la maquinaria y estructuras adyacentes, cubriendo la voladura con mallas suplementadas con maderamen en donde sea necesario.

La experiencia ha mostrado que el concreto superior es más fácil de romper. En trabajo crítico de este tipo, es preferible simplemente romper el concreto o la mampostería, de tal modo que pueda removerse con un pico o barra. Usualmente es adecuado un factor de carga del orden de 0.25 lb/yd<sup>3</sup> para concreto monolítico sin refuerzo, en donde solo se requieran unas voladuras ligeras. Cuando se efectúan digapuros en el interior de la estructura, todas las puertas y ventanas deben abrirse para evitar que se rompan por la fuerza de explosión. Si el trabajo se efectúa en terreno abierto, pueden cargarse y dispararse eléctricamente, con mayor eficiencia varios barrenos a la vez.

## 6.2.- REMOCION DE PRESAS.

La mayor parte de las presas en México son de materiales graduados

ó de enrocamiento, aunque también se construyen a base de elementos de concreto. Al paso del tiempo, este tipo de obras alcanza un grado de azolve tal que la presa deja de ser útil, por lo que surge la necesidad de volverla a acondicionar. Para tal efecto existe un método: el dragado ó desazolve de la presa mediante maquinaria, desafortunadamente la renta de ésta es tan alta que a veces resulta antieconómico.

Otra opción, aunque no recomendable en el sentido de conservar la presa, es la remoción total de esta mediante explosivos logrando -- con ello una mayor facilidad para el acarreo de material, así como el reacondicionamiento del lugar para poder construir otra presa; además, existe la posibilidad de volver a usar gran porcentaje del material original, lo que significaría un gran ahorro en cuanto a la adquisición y traslado de material nuevo. Conviene volver a recordar que el uso de explosivos en este tipo de trabajos no es recomendable, siempre y cuando la vida útil de la presa a terminado.

Para la realización de este tipo de voladuras, se construye una serie de galerías denominadas "coyoterías", en las cuales se concentran fuertes cargas de explosivos destinados a hacerlos estallar -- simultáneamente en una sola tronada para aflojar un gran volumen de roca.

El análisis y cálculo de éstas "coyoterías" es similar al empleado en voladura de roca anteriormente expuesto, con la salvedad de que las grandes cargas colocadas en la galería se considera como carga de fondo para un diámetro enorme, así como que dichos barrenos están inclinados respecto a la horizontal.

En la practica, tan solo basta considerar que, para una roca sana, la resistencia especifica a ser tronada (S) es de  $0.4 \text{ Kgs./m}^3$ , esto es, que requieren aproximadamente 400 grs. de dinamita por cada metro cúbico de roca para producir la falla, el cálculo se reduce a determinar la carga en función del volumen de la presa, aunque habra que considerar el valor de S mas bajo, dado que la presa está constituida por materiales graduados.

Con objeto de ejemplificar lo antes expuesto, consideremos los siguientes datos de una presa:

DATOS:

- Longitud de presa ,  $L = 120 \text{ mts.}$
- Altura maxima de presa ,  $H = 75 \text{ mts.}$
- Ancho de corona ,  $b = 30 \text{ mts.}$
- Ancho de la base ,  $B = 80 \text{ mts.}$
- Talud ,  $1 : 3$
- Factor de constricción, por talud,  $f = 0.70$
- Factor de potencia del explosivo, sea una dinamita al 35% .  $sh=1.0$
- Grado de atacado ,  $\mu = 0.70$  ( para explosivos amontonados )
- Supongase que  $E = 20.0 \text{ mts.}$
- Sea  $S = 0.3 \text{ Kg./m}^3$

De los datos geometricos de la presa, tenemos:

$$V = \frac{1}{2} ( 80\text{m} + 30\text{m} )(75\text{m})(120\text{m}) = 494,900.0 \text{ m}^3$$

De acuerdo al valor de S, la carga total para demoler la presa sera:

$$C_T = 494,900 \text{ m}^3 (0.3 \text{ kg/m}^3) = 148,470 \text{ kgs.}$$

esto es, sin considerar el cuele que se obtiene por tronada.

En tamos de barrenos múltiples, generalmente el espaciamiento resulta más favorable cuando  $\epsilon = 1.3V$

$$V = \frac{1}{1.3} (20.0m) \approx 15.0m$$

De acuerdo a la ecuación núm. 7 del apéndice E-1, tenemos que:

$$Q_b = 1.1 \frac{f}{s_b} \cdot \frac{E}{V} (0.7 \text{ kg/m } V^2 + SV^3)$$

sustituyendo valores

$$Q_b = 1.1 \frac{0.70}{1.00} \cdot \frac{20.0m}{15.0m} (0.7 \text{ kg/m } (15.0m)^2 + 0.3 \text{ kg/m } (15.0m)^3)$$

$$Q_b \approx 1,170.0 \text{ kg/coyotera}$$

De acuerdo a la expresión núm. 5 del apéndice E-1, tenemos:

$$q = \frac{Q}{K \cdot E \cdot V} \quad \text{despejando } K \text{ y sustituyendo valores,}$$

resultado:

$$K = \frac{1,170.0 \text{ kg}}{(0.3 \text{ kg/m}^3)(20.0m)(15.0m)} = 13.0m$$

Esto es, se barrenaran las coyoteras a una profundidad de 13.0 mts.

El cuele por tronada ( 1 ) esta limitado por razones prácticas tales como: profundidad de los barrenos, grado de fragmentación de la roca etc.

En la práctica se ha determinado que el cuele por tronada generalmente suele ser una función del área de la sección transversal de excavación, como se ilustra en la figura 6 del apéndice E-2, construida con valores promedio basado en observaciones estadísticamente conducidas.

Si consideramos, en nuestro caso, que el área transversal de excavación es el resultado de  $E \cdot V$  tenemos:

$$E \cdot V = ( 20.0 \text{ m} ) ( 15.0 \text{ m} ) = 300.0 \text{ m}.$$

de la figura núm 6, observamos que para un área de  $300 \text{ m}^2$ , el valor de  $l$  es  $8.0$  mts aproximadamente, por lo que el avance lineal de cuete será:

$$l_c = l = 8.0 \text{ mts}$$

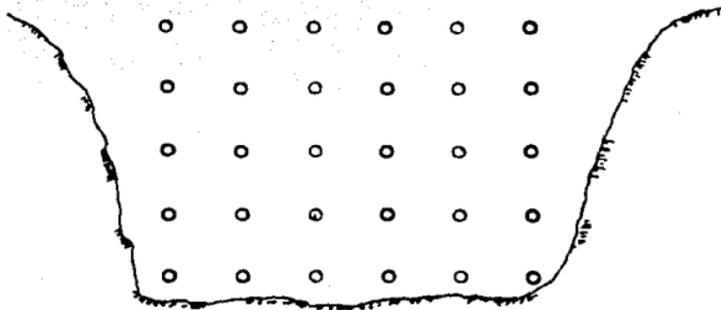
el volúmen de avance por coyotera será :

$$V_c = ( 20.0 ) ( 15.0 \text{ m} ) ( 8.0 \text{ m} ) = 2,400 \text{ m}^3/\text{coyotera}$$

Ahora bien, un arreglo teórico de la distribución de las coyoteras sería el siguiente:

$$\# \text{ coyoteras longitudinales} = L/E = 120/20 = 6 \text{ coyoteras.}$$

$$\# \text{ coyoteras verticales} = H/V = 75/15 = 5 \text{ coyoteras.}$$



De lo anterior se deduce que el avance por tanda es:

$$V_t = V_c \times 6 \times 5 = 2,400 \text{ m}^3 \times 6 \times 5 = 72,000.0 \text{ m}^3$$

Por otra parte, después de la primera tanda, nos quedarían  $22.0$  mts de corona de acuerdo a la longitud de cuete ( $l$ ), lo que nos da -- idea de la necesidad de realizar otra tanda, aunque ahora solo se -- trabajarán las 3 últimas filas de las coyoteras mostradas en la figura.

De acuerdo a lo anterior, la carga real de explosivos a utilizar es:

$$C_R E = 1,170 \text{ Kgs/coyoterá ( 48 coyoterás ) = 56,160.0 kgs.}$$

finalmente, solo resta calcular el diámetro de perforación de las galerías mediante la expresión núm. 8 del apéndice E-1

$$Q = P \left( \frac{db}{32} \right)^2$$

, despejando db y sustituyendo valores pero considerando que Q es por metro lineal resulta :

$$db = \sqrt{\frac{1,170 \text{ Kg/m} \times 1,024 \text{ mm}^2}{0,7 \text{ kg/m}}} = 1,300 \text{ mm} = 1,3 \text{ mts.}$$

### 6.3.- DEMOLICION DE PUENTES.

La destrucción de un puente cualquiera puede llevarse a cabo: sobre los estribos, sobre los apoyos intermedios ( pilas ) ó sobre los tramos del tablero o calzada de rodamiento.

La demolición de los estribos de un puente es un medio muy efectivo puesto que, a más de que arrastrará a los tramos contiguos, dañan enormemente los apoyos finales y puede desorganizar las orillas en las proximidades de los estribos obligando así a construir nuevos medios de apoyo y de acceso, en los casos en que se emprenda la reparación del puente ó la construcción de uno provisional en el mismo lugar.

Por otra parte, la demolición de los apoyos intermedios o pilas trae consigo el derrumbe de los tramos contiguos lo que obliga a que se proporcionen nuevos medios de apoyo, sustituyendo los destruidos, levantándolos de nuevo o construyendo tramos excesivamente largos, lo cual exige tiempo y materiales. Habrá que considerar

que los escombros que caen al lecho del río o a la baja del claro - construirán dificultades adicionales para la reparación del puente.

La voladura de uno o varios tramos resulta el método más fácil y rápido para destruir un puente. Cuando no se cuente con el tiempo necesario para llevar a cabo una destrucción más a fondo, deberá destruirse el tramo más significativo de éste.

El método más completo para llevar a cabo la destrucción de un puente, sería el de volar ambos estribos, todos los apoyos intermedios y todos los tramos, sin embargo, pocas veces será necesario o se justificará el llevar a tal escala la destrucción.

Para elegir la manera más conveniente de destruir un puente, es necesario considerar los factores siguientes:

- a).- La construcción y disposición del puente.
- b).- El tiempo y los materiales de que se dispone
- c).- El daño que deberá causarse a un puente
- d).- Factibilidad económica.

#### 6.3.1.- DESTRUCCION DE LOS ESTRIBOS.

Los estribos de los puentes, cuando son de mampostería o de concreto armado, se destruirán usando el criterio seguido por la Secretaría de la Defensa Nacional, el cual sugiere la aplicación de "cargas de brecha", las cuales se podrán colocar de tres maneras distintas:

- 1.- Adosadas

II.- Empotradas en el interior del estribo.

III.-Empotradas detrás del estribo

Cargas de Brecha.- Se llaman cargas de brecha aquellas en que la carga se coloca, generalmente concentrada, en contacto o en el interior de obras o materiales tales como: concreto reforzado, mamposterías, rocas, tierra y otros semejantes, con el fin de romper o quebrar dichos materiales por la conmoción que produce la explosión. Estas cargas se calculan mediante la siguiente expresión:

$$P = 8R^3 KFa$$

, en el cual:

P= Peso necesario de TNT, o su equivalente, en Kgs.

R= Radio de brecha que se quiere lograr, en metros.

K= Factor del material por destruir

Fa=Factor que depende de la colocación y ataque de la carga.

Cuando el resultado sea menor de 22 Kgs, será necesario agregar un 10%.

El radio de brecha se contará a partir de la superficie de la carga, así por ejemplo, para una carga adosada a una pared que quiere destruirse, se contará todo el espesor de la pared.

Las figuras del apéndice F, se encuentran consignados los valores de "Fa" de acuerdo a la forma y lugar en que se colocarán las cargas. De forma similar, en la tabla del apéndice G, se detallan los valores de "K" como una función tanto del tipo de material como de la dimensión "R" adoptada.

La destrucción de los estribos por medio de cargas empotradas detrás del estribo, es la que reporta mejores efectos y resultados más satisfactorios. Además de que se destruye el estribo se afloja la ribera -

en la parte de acceso al puente.

Las cargas pueden colocarse en barrenos verticales practicados desde la carpeta asfáltica o en perforaciones desde uno o ambos lados del estribo los cuales siempre se atracarán con una dimensión mínima - igual a "R".

Cuando el estribo tenga un espesor de 1.5 mts, o menor, la destrucción se hará por una serie de barrenos a 1.5 mts de profundidad, a 1.5 mts de la cara exterior del estribo y a una distancia similar -- entre barrenos.

Si el espesor del estribo es mayor de 1.5 mts, las cargas se colocarán contra la cara interna del estribo, a una distancia no mayor de  $2R$  entre barrenos, quedando la de los extremos a una distancia no mayor que "R" al final del estribo.

Cargas de Presión: - Las cargas de presión o superficiales son aquellas cuyo objetivo es el de destruir los largueros o trabes de puentes de concreto armado, losas de concreto de abrigo y otros semejantes. Diferentes de las cargas de brecha, producen una presión extraordinaria sobre dichas partes de la obra quebrándolas por efecto de presión y onda explosiva.

La ventaja principal de estas cargas es que se colocan y calculan rápidamente aplicando el criterio que para tal sostiene la Secretaría de la Defensa Nacional.

Aunque en este caso se obtienen superiores resultados o efectos con explosivos de relativamente lenta onda explosiva, como el nitrato de

de amonio, los resultados que se obtienen son aceptables con cualquier otro explosivo.

Estas cargas se calculan aplicando la siguiente expresión:

$$P=48H^2T \quad , \quad \text{en donde:}$$

P= Peso necesario de TNT ( o equivalente ) en kilogramos

H= Peralte del larguero, trabe o losa por destruir, en metros.

T= Ancho del elemento, en metros

Las cargas se colocarán a la mitad de cada tramo o claro. Cuando se utilicen explosivos de alta velocidad, como el TNT, pueden obtenerse efectos un tanto semejantes a los que se obtienen con explosivos de baja velocidad. Las cargas de presión se atracarán, empleando de preferencia sacos llenos de tierra con un mínimo de 25 cms.

Para ejemplificar el procedimiento anterior, consideremos los siguientes datos geométricos de un puente, el cual tiene un claro total de 45 mts, con pilas de apoyo intermedio a cada 15 mts.

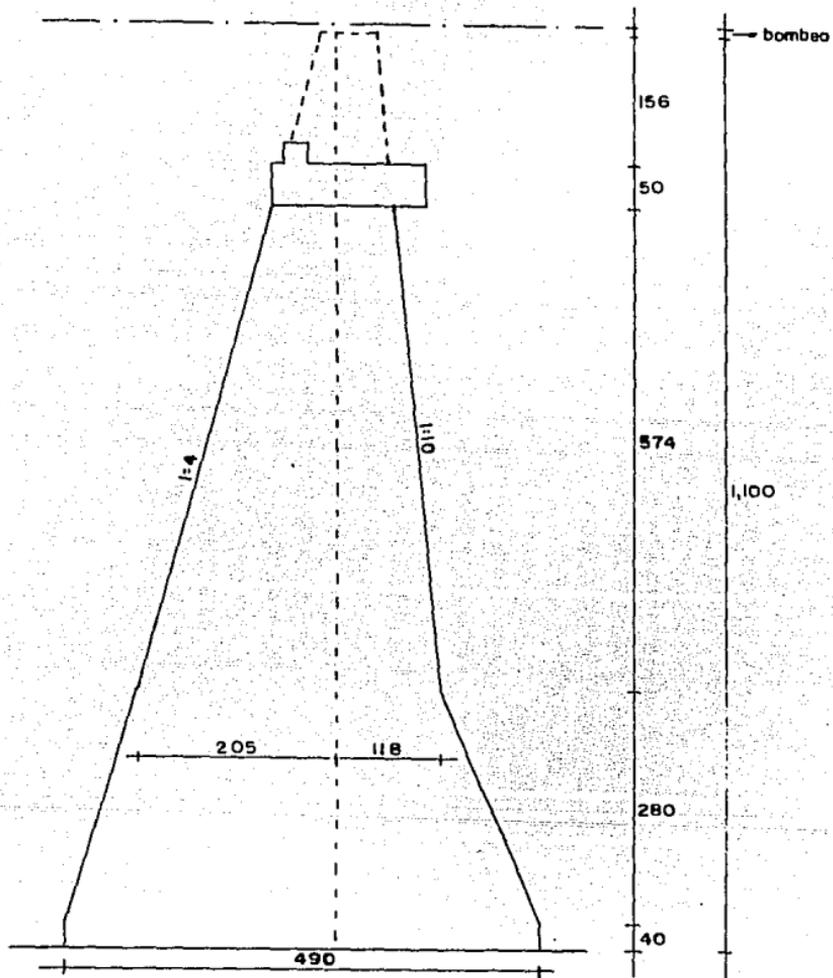


Fig.6.3.1. Sección transversal de los estribos de concreto en el puente.

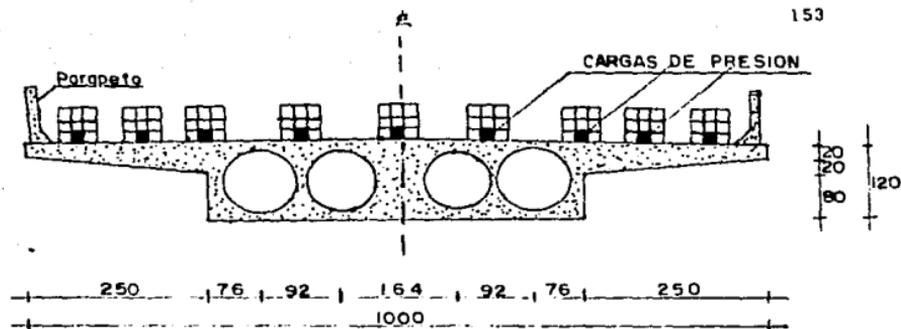


Fig. 6.3.2. Sección aligerada (centro del claro) y colocación de cargas.

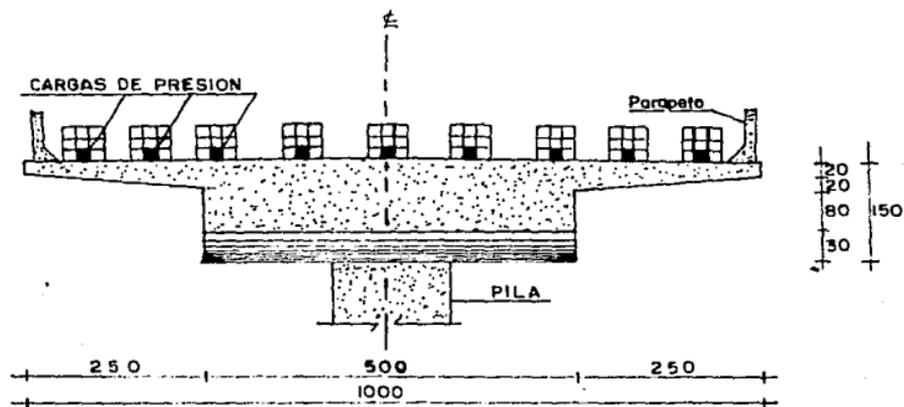


Fig. 6.3.3. Sección maciza (sobre pilas) y colocación de cargas.

Cálculo para destrucción de los estribos.

Los estribos se destruirán usando cargas de brecha, éstas se colocarán en barrenos verticales perforados desde la carpeta asfáltica, -- detrás del estribo dado que es donde se producen mejores efectos.

Ahora bien, para calcular la profundidad de barrenos, de la figura 6.3.1. tenemos que el ancho promedio del estribo es:

$$A = \frac{4.90 + 1.24}{2} = 3.07 \text{ mts} = R$$

2

Este ancho de estribo se presenta a una profundidad de 7.4 mts a partir de la carpeta asfáltica, por lo que la perforación de barrenos se harán hasta los 7.4 mts, a una distancia horizontal de 1.9 mts atrás del estribo, a partir del eje del mismo, con una separación de barrenos de 6.0 mts y con un retaque de 4.0 mts.

De la tabla del apéndice "G", para concreto ordinario y un valor de  $R=3.07$  ( mayor de 2.1 mts ), el valor de  $K$  es de 0.45; y de la figura del apéndice "F", el valor de  $Fa$  es 2.0 finalmente tenemos:

$$R = 3.07 \text{ mts.}$$

$$K = 0.45$$

$$Fa = 2.0$$

Aplicando la fórmula para carga de brecha resulta:

$$P = 8R^3 K Fa$$

$$P = 8(3.07)^3 (0.45)(2.0)$$

$$P = 208 \text{ Kgs de TNT ó equivalente}$$

Cálculo para la destrucción de la superestructura del puente.

En nuestro caso, el puente se destruirá con cargas de presión con detonación simultáneamente (recomendable), colocadas en la parte media de los claros y sobre las pilas ó apoyos intermedios.

El cálculo es el siguiente:

a).- Para la sección aligerada, centro del claro (fig. 6.3.2), tenemos:

$$H = 0.70 \text{ mts ( promedio )}$$

$$T = 7.50 \text{ mts ( promedio )}$$

Aplicando la fórmula, tenemos:

$$P = 48 H^2 T$$

$$P = 48 ( 0.7 )^2 ( 7.5 ) = 176 \text{ Kgs. de TNT ó equivalente}$$

b).- Para la sección maciza, sobre pilas (fig. 6.3.3.), tenemos:

$$H = 0.85 \text{ mts. ( promedio )}$$

$$T = 7.50 \text{ mts ( promedio )}$$

Mediante la ecuación, resulta:

$$P = 48 H^2 T$$

$$P = 48 ( 0.85 )^2 ( 7.5 ) = 260 \text{ Kgs de TNT ó equivalente}$$

Estas cargas se distribuirán a lo ancho de losa ( 10.0 mts ) de la carpeta asfáltica, colocando siempre más del 50% de éstas al centro del ancho; un arreglo teórico sería el mostrado en las figuras 6.3.2 y 6.3.3, donde cada carga es de 20 Kgs en la sección aligerada y de 30 Kgs en la sección maciza.

Por último, el efecto que estas cargas, en conjunto con la de los ejes, producirán en el puente sería el mostrado en la figura 6.3.4.

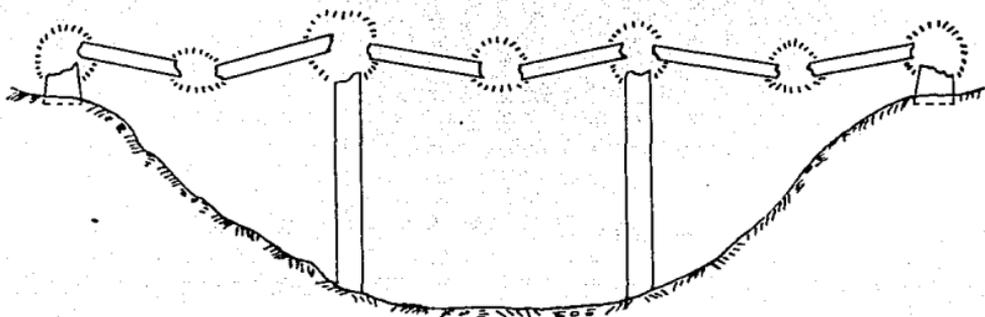


Figura 6.3.4.- Efecto que producirán el conjunto de cargas en el --  
puente.

#### 6.4.- CORTE DE MADERA ESTRUCTURAL

Con frecuencia es necesario cortar tronco, pilas, postes o madera estructural y esto es factible efectuarlo utilizando explosivos.

La cantidad requerida depende del diámetro o de la menor dimensión de la madera; así como de la colocación de la carga.

Cuando se coloca una carga en el exterior de la madera, la cantidad de explosivos deben ser iguales al diámetro o menor dimensión en pulgadas elevadas al cuadrado, dividido entre 40. Por otra parte, cuando se perforan en el tronco uno o más barrenos y se colocan los explosivos en el interior, la carga debe ser igual al diámetro o a la menor dimensión en pulgadas elevado al cuadrado, dividido entre 250. Estas cargas están dadas en libras, por lo que finalmente tenemos:

$$\text{Explosivos en libras para carga externa} = \frac{D^2}{40}$$

Explosivos en libras para carga interna =  $\frac{D^2}{250}$

## CONCLUSIONES.

En base a las aportaciones logradas en los trabajos de demolición con explosivos, efectuados en México, se pudo apreciar lo siguiente:

La aplicación del sistema resulta muy rápido y económico en comparación con el tradicional (esto en elementos altos), además de que mostró ser muy seguro.

Ciertamente, la secuencia de tiempos de detonación para lograr direccionar la caída, es determinante; de tal forma, es conveniente dar mayor atención a este aspecto.

Existen varios métodos para calcular las cargas explosivas, pero los resultados obtenidos a través de ellos discrepan entre si, además de que ninguno aporta las cargas reales. Dichos resultados solo generaban un rango, ya que en la práctica se dosifican las cargas mediante pruebas preliminares.

El empleo de cables no solo contribuye a proteger colindancias, sino -- que además auxilia en el direccionamiento de caída. Lo anterior se debe -- considerar para futuras demoliciones.

En cuanto a daños causados por este tipo de demolición, los datos re--

portados fueron poco significativos; tal fué el caso de dos estructuras con -- características similares, localizados en la Unidad Nonoalco-Tlatelolco, los cuales se demolieron en forma simultánea, sin que las vibraciones generadas produjeran daños a los inmuebles colindantes.

De acuerdo a lo anterior y conforme a la experiencia aportada en las de--- moliciones se concluye lo siguiente:

Se sugiere realizar simulacros de tiempos de detonación, con ayuda de -- una computadora, para lograr con ello mayor eficacia y seguridad en las de- moliciones, pudiéndose lograr, incluso, a disminuir el número de columnas a tratar con explosivos mediante un análisis dinámico de la estructura con- forme se van eliminando sus soportes.

Es necesario realizar un estudio más profundo enfocado a determinar -- las cargas explosivas reales. Con ello, se abre un nuevo campo de inves- tigación en el cual se desarrolle una serie de pruebas en elementos de con- creto, enfocados a determinar los parámetros más adecuados a considerar -- en este tipo de trabajos.

El sistema de explosivos para realizar demoliciones no solo se puede - utilizar en edificios, en general es aplicable a cualquier elemento estructu- ral a base de concreto como podrían ser puentes, chimeneas, etc; incluso, es posible su aplicación en elementos a base de acero, aunque se presupo- ne un análisis distinto al considerado para estructuras de concreto.

Finalmente, considerando los resultados de las demoliciones realizadas hasta la fecha , se considera que la metodología del sistema de explosivos ha sido correctamente asimilada y aplicada.

A P E N D I C E S .

APENDICE A**" SIEMPRE Y NUNCAS "**

## Definiciones.

- 1.- El término "explosivos " según se utiliza aquí incluye a cualquier o a todos los productos siguientes: dinamita, pólvora negra para voladuras, pólvora granulada, fulminantes, estopines eléctricos y cordón detonante.
- 2.- El término "estopín eléctrico", según se utiliza aquí incluye - tanto a los estopines eléctricos instantáneos como a todos los tipos de estopines eléctricos de retardo.
- 3.- El término "cebo" indica un cartucho de explosivos en combinación con un fulminante o con un estopín eléctrico.

## Durante el transporte de los explosivos.

- 1.- SIEMPRE obedezca las leyes y reglamentos federales, estatales y locales.
- 2.- SIEMPRE verifique que cualquier vehículo que se utilice para transportar explosivos esté en buenas condiciones de trabajo y equipado con un piso de madera o de metal que no produzca chispas, con redilas y extremos suficientemente altos para prevenir que los explosivos se caigan. La carga en un camión abierto debe estar cubierta con una lona impermeable y resistente al agua, y no se debe permitir que los explosivos entren en contacto con cualquier fuente de calor, como, por ejemplo, el tubo de escape. Todo el alambrado tiene que estar perfectamente aislado para evitar cortocircuitos y se deben tener en el camión cuando menos dos extinguidores de fuego. Es indispensable que los camiones estén claramente marcados para dar aviso adecuado al público sobre la naturaleza de la carga.

3.- NUNCA permita que los metales, excepto los cuerpos metálicos -- aprobados para camiones, estén en contacto con las cajas de los -- explosivos. El metal y las sustancias inflamables o corrosivas, -- nunca deben transportarse junto con explosivos.

4.- NUNCA permita fumar o que viajen en el vehículo personas sin -- autorización o innecesarias.

5.- SIEMPRE cargue y descargue los explosivos cuidadosamente. Nunca los arroje fuera del camión.

6.- SIEMPRE vea que los otros explosivos, incluyendo el cordón deto<sup>g</sup> nante, se encuentran separados de los fulminantes y/o de los cstopi<sup>n</sup> nes eléctricos en aquellas ocasiones en que se les permita el trans<sup>p</sup> porte en el mismo vehículo.

7.- NUNCA conduzca camiones con explosivos a través de ciudades, po<sup>b</sup> blaciones o villas, ni los estacione cerca de lugares como restauran<sup>t</sup> tes, talleres y gasolineras, a menos que esto no se pueda evitar.

8.- SIEMPRE solicite que las entregas de explosivos se efectúen en - el polvorín o en cualquier otro lugar bien retirado de las áreas po<sup>b</sup> bladas.

9.- NUNCA apague incendios después que hayan estado en contacto con- los explosivos. Retire a todo el personal a lugares seguros y ponga- protección al área para evitar extraños.

Durante el almacenamiento de los explosivos.

- 10.- SIEMPRE almacene explosivos de acuerdo con las leyes y reglamentos federales, estatales o locales.
- 11.- SIEMPRE almacene explosivos únicamente en un polvorín que este limpio, seco, bien ventilado, bastante fresco, localizado en un lugar adecuado construido sustancialmente, resistente a las balas y al fuego, y cerrado con candado.
- 12.- NUNCA almacene fulminantes o estopines eléctricos en la misma caja, contenedor o polvorín, junto con otros explosivos.
- 13.- NUNCA almacene explosivos, mecha, o encendedores de mecha en un lugar mojado o húmedo, o cerca de aceite, gasolina, soluciones limpiadoras o solventes, ni cerca de radiadores, tubos de vapor, tubos de escape, estufa, o cualquiera fuente de calor.
- 14.- NUNCA almacene ningún metal que produzca chispas, ni herramientas metálicas que originen chispas en un polvorín de explosivos.
- 15.- NUNCA fume o tenga fósforos, o alguna fuente de fuego o flama dentro o cerca de un polvorín de explosivos.
- 16.- NUNCA permita que se acumulen hojas, pasto o malezas, o basura dentro de un radio de 25 pies al polvorín de explosivos.
- 17.- NUNCA dispare una arma de fuego a los explosivos, ni permita disparos en la vecindad de un polvorín de explosivos.

18.- SIEMPRE consulte al fabricante si la nitroglicerina de los explosivos deteriorados se ha escurrido al piso de un polvorín. El piso -- debe insensibilizarse lavándolo abundantemente con un agente aprobado para este fin.

19.- SIEMPRE localice los polvorines de explosivos en los lugares más aislados disponibles. Deben estar separados uno del otro, así como de los edificios habitados, carreteras y ferrocarriles, por distancias no menores a las recomendadas en la "Tabla Americana de Distancias".

Durante el empleo de los explosivos.

20.- NUNCA utilice herramientas que produzcan chispas para abrir cuñetes o cajas de madera con explosivos. Se pueden usar navajas metálicas para abrir las cajas de cartón, siempre y cuando no entren en contacto con las grapas metálicas de la caja.

21.- NUNCA fume o tenga fósforos o cualquier fuente de fuego o flama, dentro de un radio de 100 pies del área en la que se están utilizando o manejando explosivos.

22.- NUNCA coloque los explosivos en lugares en donde puedan quedar expuestos a la flama, calor excesivo, chispas o impacto.

23.- SIEMPRE reemplace o cierre la tapa de las cajas de los explosivos después de utilizarlos.

24.- NUNCA lleve explosivos en las bolsas de su ropa o en alguna parte de su persona.

25. NUNCA inserte en el extremo abierto de un fulminante nada que no sea mecha de seguridad.
26. NUNCA golpee, juegue o intente retirar o investigar el contenido de un fulminante o de un estopín eléctrico, ni intente jalar alambres de un estopín.
27. NUNCA permita que los niños o personas sin autorización o innecesarias estén presentes en los lugares en donde los explosivos se están manejando o utilizando.
28. NUNCA maneje, utilice, o esté cerca de explosivos durante la formación o progreso de una tormenta eléctrica. Todas las personas deben retirarse a un lugar seguro.
29. NUNCA utilice explosivos o sus accesorios que estén obviamente deteriorados o dañados.
30. NUNCA intente utilizar mecha, fulminantes, estopines eléctricos o cualquier explosivo que haya estado empapado con agua, aunque estén ya secos. Consulte al fabricante.

**Durante la preparación del Cebo.**

31. NUNCA prepare cebos en un polvorín, o cerca de cantidades excesivas de explosivos, o en cantidades mayores de las necesarias.
32. NUNCA fuerce un fulminante o un estopín eléctrico en un cartucho de dinamita. Inserte el fulminante dentro de un agujero efectuado en el cartucho con un punzón adecuado para este fin.

33.- SIEMPRE prepare los cebos de acuerdo con los métodos aprobados y establecidos. Asegúrese que el casquillo del fulminante esté completamente dentro de la dinamita o del reforzador, y asegurado de tal modo que durante el cargado no se aplique tensión a los alambres o a la mecha en el punto de entrada al fulminante. Cuando se prepara un ceco lateral o un cartucho de pared gruesa o de mucho peso, enrolle cinta adhesiva alrededor del agujero perforado en el cartucho de tal modo que el fulminante no se saiga.

Durante la Barrenación y Cargado.

34.- SIEMPRE cumpla con los reglamentos federales, estatales y locales relativos a la barrenación y el cargado.

35.- SIEMPRE examine cuidadosamente la superficie o frente antes de la barrenación para determinar la posible presencia de explosivos sin disparar. Nunca barrene en los explosivos.

36.- SIEMPRE revise el barreno cuidadosamente con un atacador de madera o una cinta para determinar su condición antes del cargado.

37.- SIEMPRE identifique la posibilidad de los riesgos de electricidad estática producidos por el cargado neumático y tome medidas precautorias adecuadas. Si existe cualquier duda, consulte con su proveedor de explosivos.

38.- NUNCA almacene explosivos sobrantes cerca de áreas de trabajo durante el cargado.

39.- SIEMPRE corte del carrete la línea de cordón detonante que se extiende hacia el barreno antes de colocar el resto de la carga.

40.- NUNCA cargue un barrenos con explosivos después de secantear ( hacer más grande el barrenos con explosivos ) o después de terminar la barrenación sin estar seguros de que está ya frío y que no contiene ningún metal caliente o material incendiado. Las temperaturas superiores a 150°F. son peligrosas.

41.- NUNCA se cante un barrenos cerca de otro barrenos ya cargado con explosivos.

42.- NUNCA fuerce explosivos al interior de un barrenos o a través de una obstrucción dentro del barrenos. Esta práctica es particularmente peligrosa en barrenos secos y cuando la carga está cebada.

43.- NUNCA raje, deje caer, deforme o abuse del cebo. NUNCA suelte un cartucho de diámetro grande y pesado directamente sobre el cebo.

44.- SIEMPRE evite colocar cualquier parte innecesaria del cuerpo sobre el barrenos durante el cargado.

45.- NUNCA cargue barrenos cerca de líneas de corriente a menos que la línea de guía, incluyendo los alambres de los estopines, sea tan corta que no pueda llegar a los cables eléctricos.

46.- NUNCA conecte fulminante o estopines eléctricos al cordón detonante excepto con los métodos recomendados por el fabricante. Durante el Retacado.

47.- NUNCA retaque dinamita que esté fuera del cartucho.

48.- NUNCA retaque con dispositivos metálicos de cualquier clase, --

incluyendo el extremo metálico de los atacadores. Use atacadores de madera sin partes metálicas expuestas, excepto conectores de metal - que no produzca chispas para los atacadores con juntas. Evite un retacado violento. NUNCA retaque el cebo.

49.- SIEMPRE confine los explosivos dentro del barreno con arena, tigrera, arcilla o cualquier otro material incombustible adecuado para el cebo.

50.- NUNCA haga cocas ni dañe la mecha, o los alambres de los estopines eléctricos, durante el retacado.

Durante el disparo eléctrico.

51.- NUNCA desenrolle los alambres o utilice estopines eléctricos durante tormentas de arena o cerca de cualquier otra fuente de grandes cargas de electricidad estática.

52.- NUNCA desenrolle los alambres o utilice estopines eléctricos en la vecindad de transmisores de radiofrecuencia, excepto a distancia - seguras. Consulte al fabricante o al Instituto de Fabricantes de Explosivos en su folleto llamado "Riesgos de la Radiofrecuencia".

53.- SIEMPRE conserve el circuito de disparo completamente aislado - de tierra o de otros conductores como alambres desnudos, rieles, tubería, u otras trayectorias para las corrientes erráticas.

54.- NUNCA tenga alambres eléctricos o cables de cualquier clase cerca de los estopines eléctricos o de otros explosivos excepto durante el movimiento y para el fin de disparar una voladura.

55.- SIEMPRE revise todos los estopines eléctricos, ya sea uno por uno o cuando están conectados en un circuito en serie, utilizando sólo galvanómetro de voladuras específicamente diseñado para este fin.

56.- NUNCA utilice, en el mismo circuito, estopines eléctricos producidos por más de un fabricante; o estopines eléctricos de diferente estilo o función, aunque estén construidos por el mismo fabricante, a menos que su uso esté aprobado por él.

57.- NUNCA intente disparar un estopín eléctrico, o un circuito de estopines, con una corriente menor a la mínima especificada por el fabricante.

58.- SIEMPRE revise que todos los extremos de los alambros que se van a conectar estén brillantes y limpios.

59.- SIEMPRE conserve los alambros de los estopines, o las líneas de guía, desconectados de la fuente de energía y un cortocircuito hasta que estén listos para dispararse.

Durante el disparo con mecha.

60.- SIEMPRE maneje la mecha cuidadosamente para evitar dañar su recubrimiento. En climas fríos calientela un poco antes de utilizarla para evitar fracturas del material impermeabilizante.

61.- NUNCA utilice una mecha corta, conozca la velocidad de quemado de la mecha y asegúrese que tiene tiempo suficiente para llegar a un lugar seguro después del encendido. Nunca emplee menos de dos pies.

62.- NUNCA corte la mecha antes de estar listo para incertarlo en un fulminante. Recorte uno o dos pig. para asegurar un extremo seco, re corte la mecha en ángulo recto, utilizando una navaja limpia y filosa. Asiente la mecha ligeramente contra la carga del fulminante y - evite girarle después que se encuentre en posición.

63.- NUNCA engargole los fulminantes con ningún otro medio excepto - la engargoladora diseñada para tal propósito. Asegurese de que el - fulminante esta fuertemente engargolado a la mecha.

64.- SIEMPRE encienda la mecha con un encendedor de mechas diseñado para este fin. Si se utiliza un fósforo, la mecha debe rajarse en - el extremo y la cabeza del fósforo, conservese en la rajada haciendo contacto con el núcleo de pólvora. Después golpee la cabeza del fósforo con una superficie abrasiva para encender la mecha.

65.- NUNCA encienda la mecha antes que se haya colocado suficiente - taco sobre el explosivo, para evitar que las chispas o la cabeza del fósforo lleguen a estar en contacto con el explosivo.

66.- NUNCA sejete los explosivos con las manos cuando encienda la mecha.

Durante el trabajo subterráneo.

67.- SIEMPRE utilice los explosivos permisibles únicamente del modo especificado por la Oficina de Minas de los Estados Unidos.

68.- NUNCA lleve cantidades excesivas de explosivos al interior de - la mina.

69. NUNCA utilice pólvora negra o granulada junto con explosivos - permisibles u otra dinamita en el mismo barrenos en una mina de carbón.

Antes y Después del Disparo.

70. NUNCA dispare una voladura sin tener señal positiva de la persona responsable, misma que ya se ha asegurado que todos los explosivos sobrantes estén en un lugar seguro, todas las personas y vehículos - a una distancia prudente o bajo protección suficiente, y de que se - ha dado un señalamiento adecuado.

71. NUNCA regrese al área del cualquier voladura hasta que el humo y los gases se hayan disipado.

72. NUNCA intente investigar demasiado pronto un disparo quedado. Si ga las reglas y reglamentos reconocidos, o si no existen en efecto, - espere cuando menos una hora.

73. NUNCA barrenea, o recoja una carga de explosivos que ha fallado. Los disparos quedados deben manejarse únicamente por o bajo la di - rección de una persona competente y experimentada.

Durante la destrucción de los Explosivos.

74. NUNCA abandone los explosivos.

75. SIEMPRE destruya los explosivos o disponga de ellos en estricto acuerdo con los métodos aprobados. Consulte al fabricante o siga -- las instrucciones proporcionadas en el folleto del Intituto de Fabri - cantes de Explosivos sobre la destrucción de los explosivos.

76 NUNCA deje explosivos, cartuchos vacíos, cajas, forros, o cual - quier otro material utilizado en el empaquetado de los explosivos - en lugares donde los niños, personas sin autorización o el ganado -

puedan tocarlos.

77.- NUNCA.- permita que la madera, papel, o cualquier otro material utilizando en el empaquetado de los explosivos se quemem dentro de una estufa, chimenea, o cualquier otro, espacio confinado, o que se utilice para cualquier fin. Estos materiales deben destruirse quemandolos en un lugar aislado, al exterior, y ninguna persona debe estar mas cerca de 100 pies después que se ha iniciado el incendio.

" SIEMPRE Y NUNCAS " ADICIONALES PARTICULARMENTE APLICABLES A  
PROSPECCION SISHTCA.

1.- SIEMPRE coloque letreros de "Explosivos " en lugares visibles cerca de los polvorines. Estos letreros deben ponerse de tal modo que una bala que los atraviese en ángulo recto no puedan tocar al polvorin.

2.- SIEMPRE proporcione compartimientos separados de almacenamiento para la dinamita y los estopines eléctricos en el camión de disparo, en donde esta permitido transportarlos en el mismo vehículo. Estos compartimientos deben estar forrados con algún material suave, tal como madera o hule. Si se va a utilizar cordón detonante, debe llevarse en el compartimiento de la dinamita.

3.- NUNCA prepare mas cargas de las necesarias para cargar y utilizar en un solo disparo.

4.- SIEMPRE coloque el fulminante cerca de la parte superior de la carga de dinamita, ya sea a la mitad del primer cartucho o en la par

te superior del segundo cartucho. Cuando se utiliza el cebado en el lado, enrolle tela adhesiva alrededor del agujero perforado en el cartucho, de tal modo que el fulminante no se puede salir.

5.- SIEMPRE utilice suficientes lazadas con los alambres del estopín para asegurar su posición en el cartucho. Una sola lazada puede ser inadecuada evitar que la tensión sobre los alambres jale al estopín fuera del cartucho.

6.- SIEMPRE asegúrese, particularmente en barrenos secos, que el barrenado este frío y que no existen piezas calientes de la broca dentro de él. Si tiene dudas vacíe suficiente agua o tierra para cubrir el fondo del barrenado o espere cuando menos una hora de cargarlos. Las temperaturas superiores a los 150°F son peligrosas.

7.- NUNCA deje caer dentro del barrenado una carga explosiva que contenga un estopín eléctrico. NUNCA suelte la siguiente unidad de explosivo si fuera necesario utilizar otra sobre la que ya tiene un fulminante.

8.- SIEMPRE asegúrese que la carga este colocado fijamente a una profundidad segura dentro del barrenado. utilice anclas si existe la posibilidad de que la carga puede "flotar", por ejemplo, en lodo de barrenación pesado o en agua, que tenga gas de ciénegas.

9.- SIEMPRE ancle el ademe, si existe la posibilidad de que pueda salir del barrenado durante el disparo.

10.- NUNCA se acerque a los explosivos que puedan haber salido del barrenado

rreno hasta que se vea evidente que no se estan quemando.

11. NUNCA regrese a un barreno hasta que el humo y los gases del dig-  
paro se hayan disipado y que sean seguro que el barreno haya dejado-  
de "soplar".

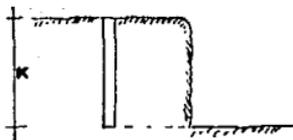
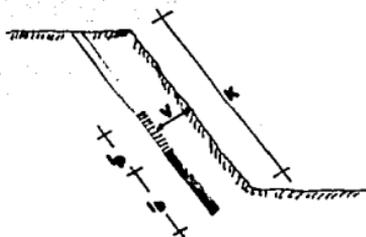
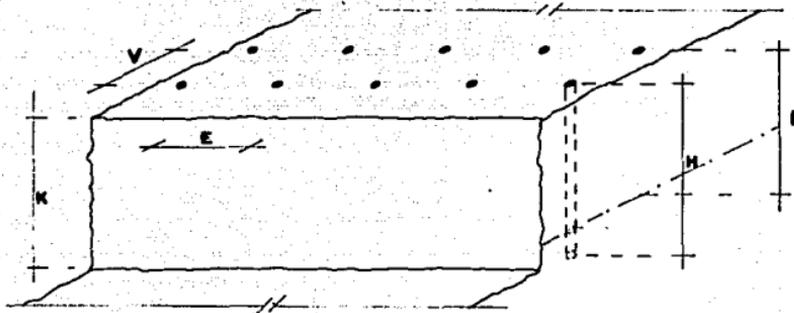
A P E N D I C E B-Nomenclatura.

<u>Notación</u>	<u>Terminología</u>	<u>Unidad de medición</u>
c	Constante de la roca	Kg/m <sup>3</sup>
db	Diámetro efectivo de - barreno	mm
E	Espaciamiento entre - barrenos	m
f	Factor de Construcción	
H	Profundidad total de los barrenos	m
h	Longitud de la columna - de la carga en un barreno	m
I	Cuele por tronada ( <u>avan</u> <u>ce</u> efectivo que se logra - en el frente después de - cada voladura. )	m
K	Altura del banco	m
lt	Carga de explosivos por - metro de barreno ( total )	Kg/m
lb	Carga de explosivos concen trada en el fondo del barreno	Kg/m
lp	Carga de explosivos distri -- buída en la columna del barr no	Kg/m
P	Grado de atacado de un explo- sivo	Kg/dm <sup>3</sup>
Q	Peso de la carga de explosivos en un barreno	Kg
Qb	Peso de la carga concentrada en el fondo del barreno	Kg.

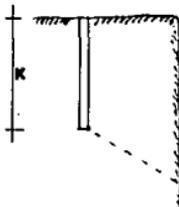
Notación	Terminología	Unidad de Medición
QP	Peso de la carga distribuida en la columna del barreno	Kg
q	Carga específica de explosivos	Kg/m <sup>3</sup>
S	Resistencia específica de la roca a ser tronada	Kg/m <sup>3</sup>
s	Potencia del explosivo (referida a una dinamita extra de 35% de potencia, que se considera potencia unitaria, - s=1).	
V	Separación frontal de los barrenos, medida con respecto al borde libre del banco y que es la línea de menor resistencia hacia la cual normalmente tiende a ser lanzado el material	m
Vm	Separación frontal máxima de los barrenos, para ciertas condiciones determinadas.	m

A P E N D I C E C

-Figuras esquemáticas de la nomenclatura.



**Barrero con su fondo confinado por el piso del bance.**



**Barrero con su fondo sin confinamiento.**

A P E N D I C E D

Valores de "S" para diferentes rocas.

TIPO DE ROCA	S
Basalto	0.62
Feldelpastos	0.57
Gneiss	0.54
Esquistos	0.53
Magnetita	0.50
Granito	0.48
Arenisca	0.46
Dolomita	0.44
Roca caliza	0.40
Pizarra	0.38
Lutita	0.38
Calcita	0.36
Antracita	0.36
Marmol	0.36
Carbón Bituminoso	0.30
Mica	0.28
Yeso	0.24
Roca sana en general	0.30 a 0.50

## APENDICE E-1

Ecuaciones para el cálculo de carga explosiva según Langefords.

### BARRENO VERTICAL SENCILLO:

$$1.- I_p = 0.4 (0.007 V + SV)$$

$$2.- Q_s = 2.50 \cdot I_p \cdot V$$

$$3.- Q_t = I_p (K + 1.50V)$$

### TANDA DE BARRENOS MULTIPLES:

$$4.- Q = \frac{I}{S} \cdot \frac{E}{V} (0.8 Q)$$

$$5.- q = Q / KEV$$

$$6.- V = \sqrt{0.90 \frac{S_s}{I} \cdot \frac{P}{S} \left(\frac{db}{32}\right)^2 - 0.7 \frac{V}{S}}$$

### CARGA DE FONDO Y FACTOR DE CONSTRICION:

$$7.- Q_b = 1.1 \frac{I}{S_b} \cdot \frac{E}{V} (0.7 V^2 + SV^3)$$

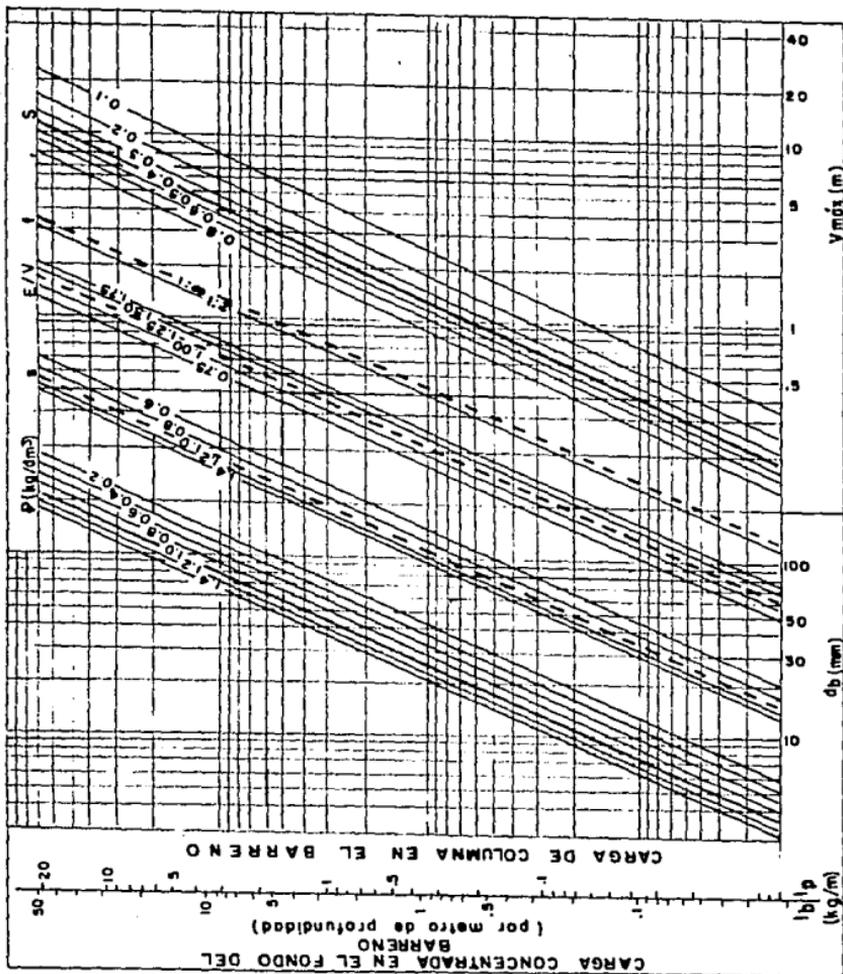
### DIAMETRO DE BARRENO EN FUNCION DE LA CARGA DE FONDO:

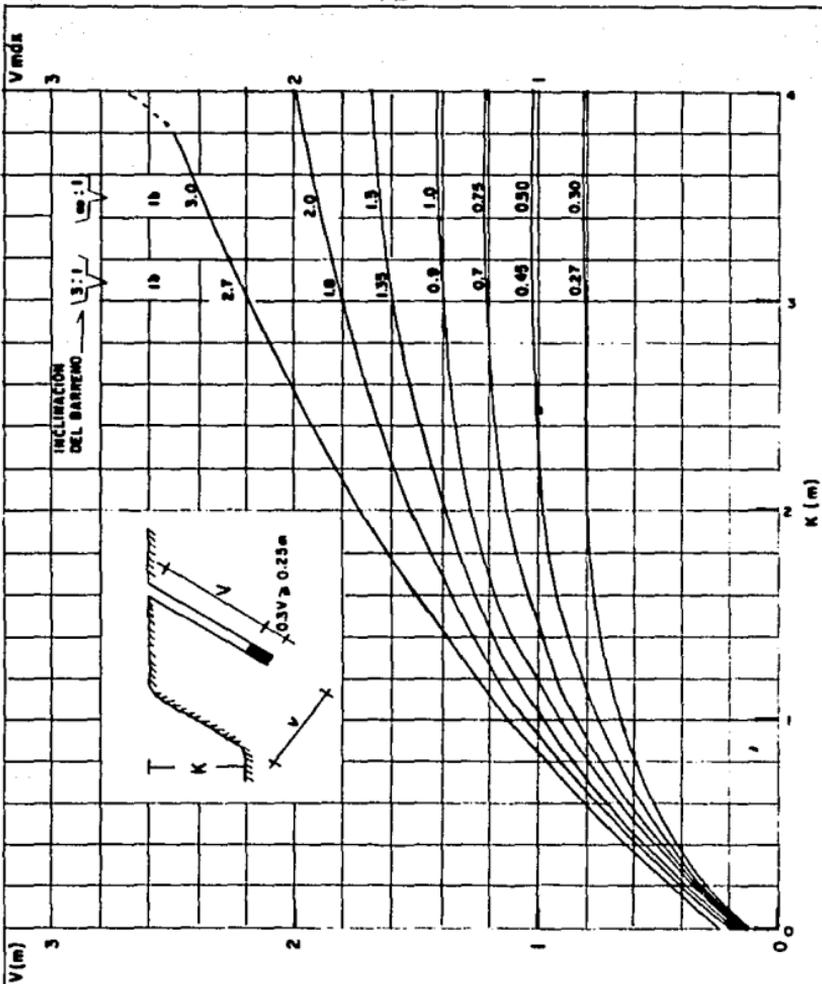
$$8.- I = 1.32 \left(\frac{db}{32}\right)^2 = P \left(\frac{db}{32}\right)^2$$

**APENDICE E—2 .**

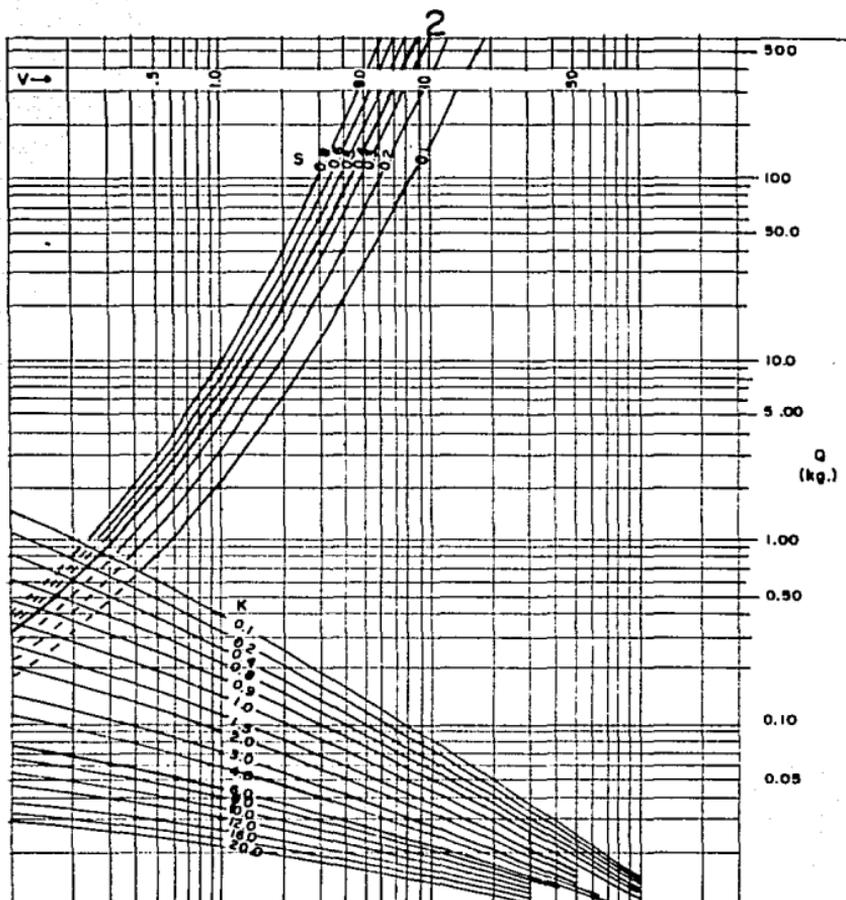
**NOMOGRAMAS**

1a



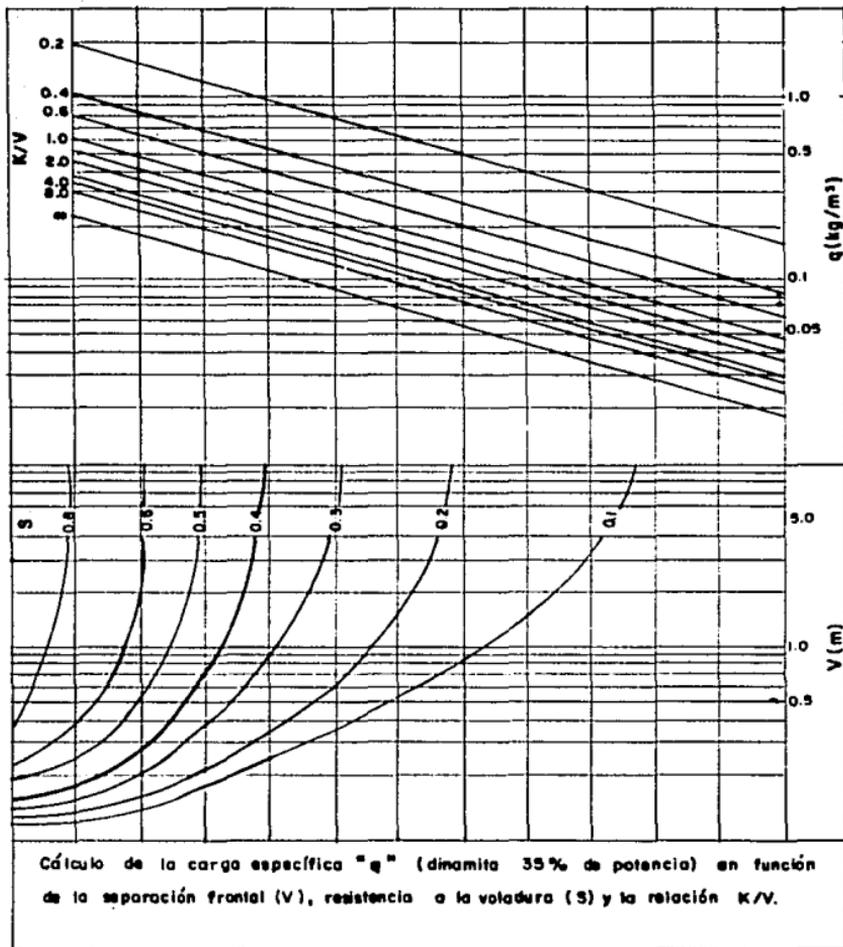


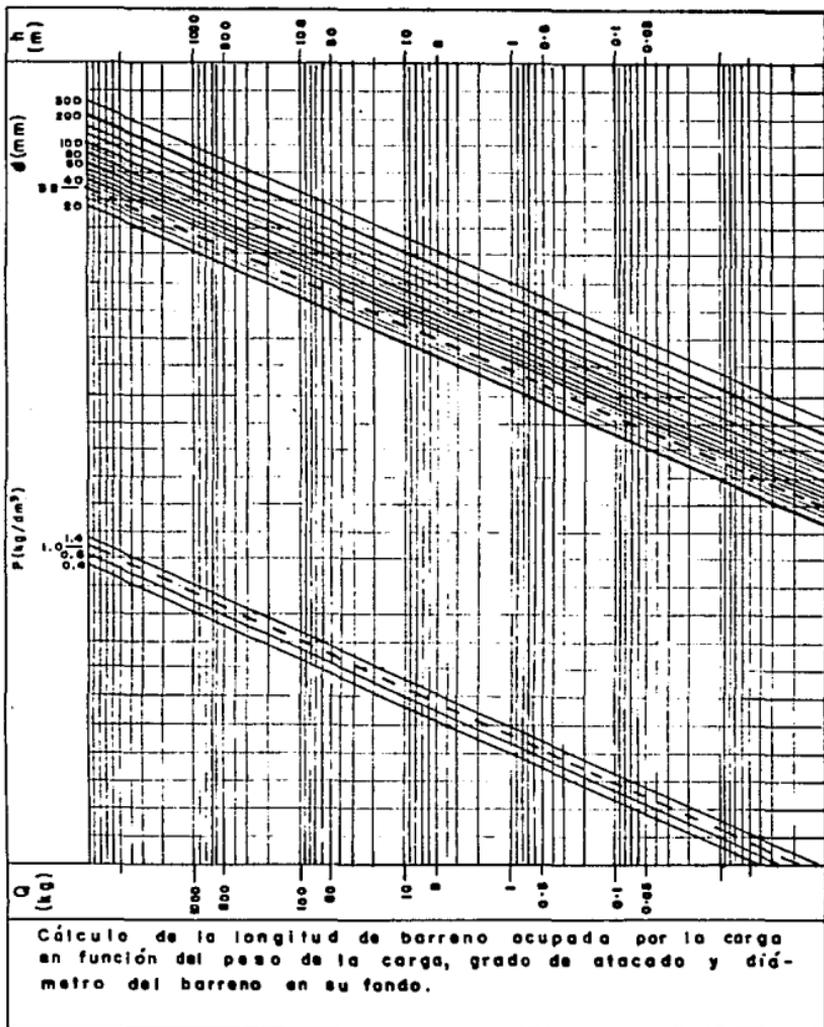
Cálculo de V para barrenos en bancos de poca altura ( $K < 2V$ ), y diferentes cantidades de explosivo por metro de barreno.



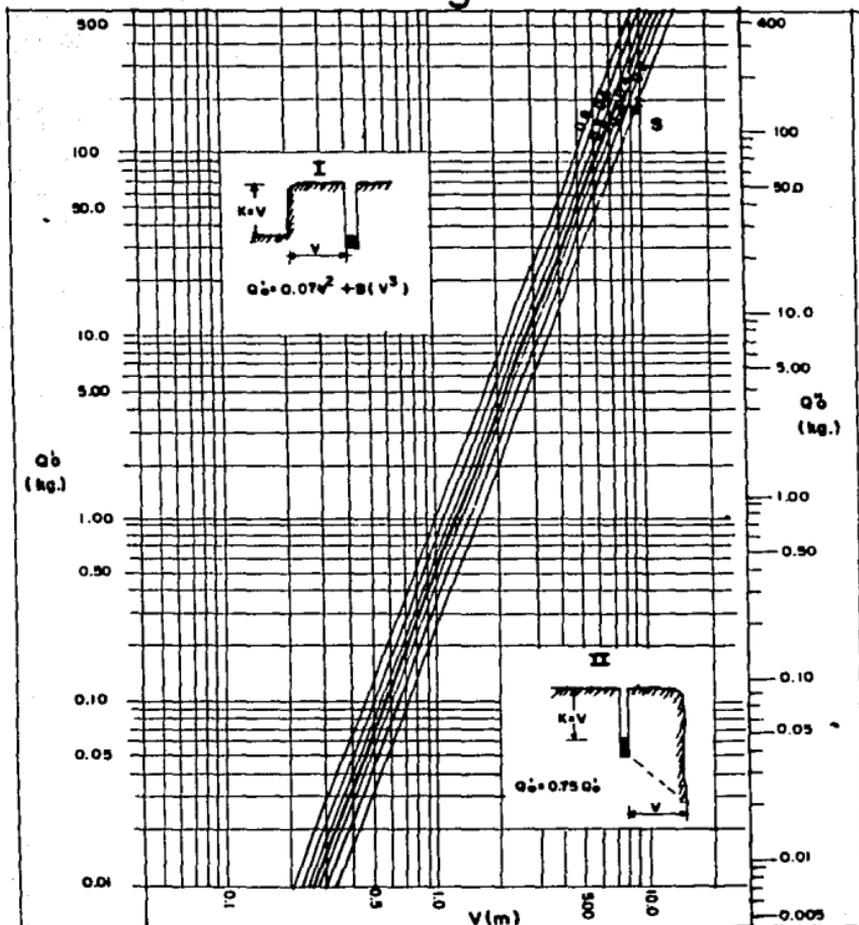
Cálculo de la carga total (Q) en función de la separación frontal (V), altura del banco (K) y resistencia específica de la roca a ser tronada (S).

## 3



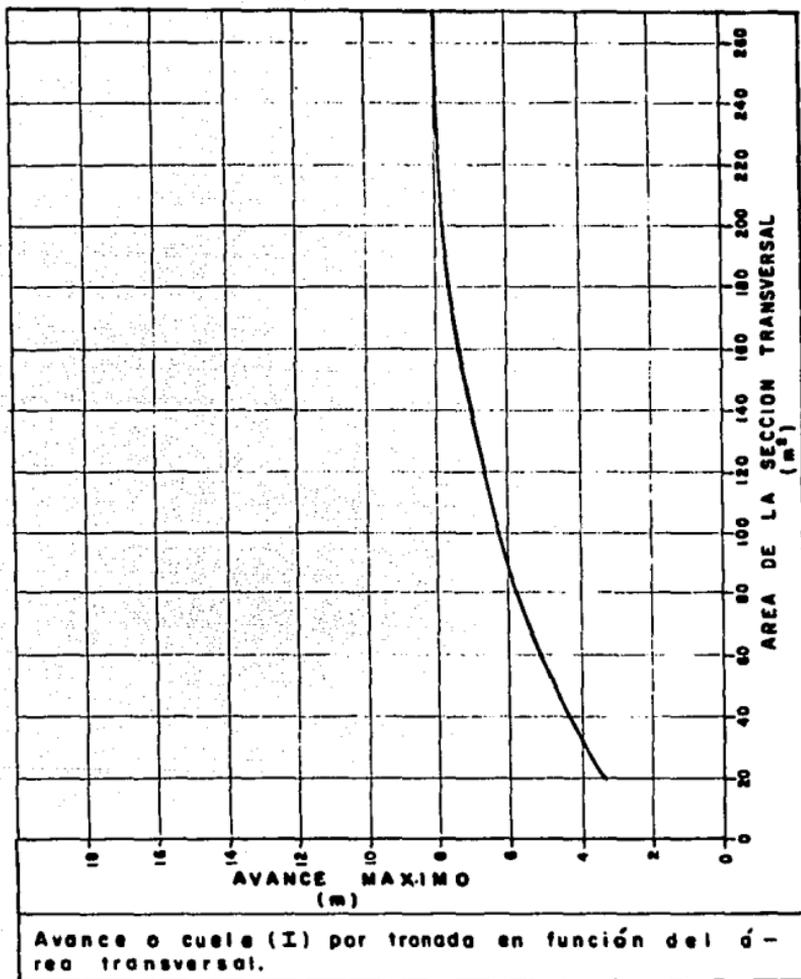


5



Cálculo de  $S$  mediante tramadas experimentales. La carga mínima de fondo se obtiene para una separación frontal igual a la altura del banco ( $K=V$ ).

6

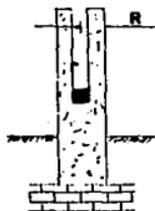


# APENDICE F

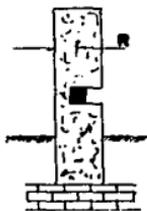
Metodos comunes para la colocacion de los cargos (de bracha) y los valores de "Fa" en cada caso.

a.- Para cargas con atroque

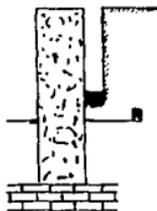
b.- " " sin " "



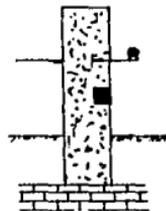
a)  $Fa=1$   
b)  $Fa=1.4$



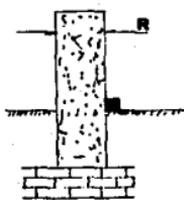
a)  $Fa=1.25$   
b)  $Fa=1.5$



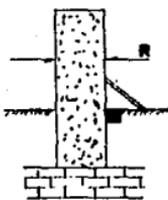
a)  $Fa=1.25$   
b)  $Fa=1.5-2.0$



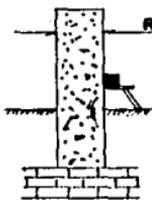
a)  $Fa=2.5$   
b)  $Fa=2.0$



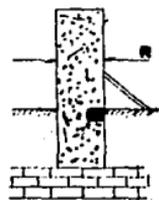
a)  $Fa=2.5$   
b)  $Fa=3.5$



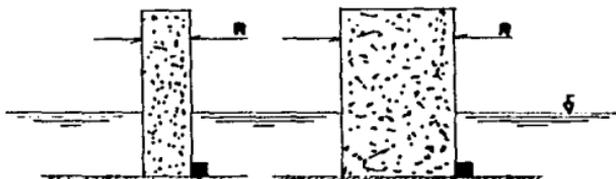
$Fa=2.0$



$Fa=4.5$



$Fa=1.5$



R o a más profundidad  
bajo el nivel del agua  
 $Fa=1.0$

a menos profundidad  
de "R" bajo el nivel del agua  
 $Fa=2.0$

A P E N D I C E G

- Valores de "K" en función del material y el valor de R.

MATERIAL	R	K
Tierra ordinaria	Todos los valores	0.10
Mampostería de mala calidad, arcilla dura, pizarra, buenas construcciones de tierra	Todos los valores	0.45
Mampostería de buena calidad, concreto ordinario y rocas.	Menor que 0.91 mts de 0.91 a 1.50 mts de 1.50 a 2.10 mts Mayor de 2.10 mts.	0.70 0.55 0.50 0.45
Concreto denso ó mampostería de primera calidad	Menor que 0.91 mts. de 0.91 a 1.50 mts de 1.50 a 2.10 mts Mayor de 2.10 mts	0.90 0.75 0.65 0.55
Concreto armado	Menor que 0.91 mts. de 0.91 a 1.50 mts de 1.50 a 2.10 mts Mayor de 2.10 mts.	1.40 1.10 1.00 0.85

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Apuntes sobre uso de explosivos en las excavaciones en roca.

ING. ARNE SAMUELSON

ING. MARIO AGUIRRE C.

ING. RAUL CUELLAR R.

- 2.- Catálogo auxiliar de precios unitarios de edificación.

ING. JUAN RAMIREZ C.

- 3.- Explosivos y voladuras aplicadas a las obras de ingeniería civil.

INSTITUTO TECNOLOGICO DE INGENIERIA, A.C.

- 4.- Manual de explosivos y demoliciones.

EDICIONES " ATENEO "

- 5.- Manual para el uso de explosivos.

DPTO. EXPLOSIVOS DE E. I. DU PONT DE NEMOURS & Co.

- 6.- Manual sobre el cálculo de precios unitarios de trabajos de construcción -  
Tomo IV:

" EXPLOSIVOS Y ARTIFICIOS PARA VOLADURAS "

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS

1963

- 7.- Memoria " Los sismos de 1985: Casos de mecánica de suelos ".

AUTORES VARIOS

SOCTEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS