



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"DEMOLICION DE EDIFICIOS DAÑADOS,  
POR MEDIO DE EXPLOSIVOS"

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A

**JOSE SANTIAGO VARGAS GABINO**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. VICTOR MANUEL MARTINEZ HERNANDEZ

MEXICO, D. F.,

1992



TESIS CON



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.

# I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	6
<b>CAPITULO I "ANTECEDENTES"</b>	
1. ASPECTOS GENERALES ACERCA DE LOS TEMBLORES	11
1.1 ORIGEN Y DEFINICION DE UN TEMBLOR	11
1.2 ESTUDIO TECTONICO Y CAUSAS DE LOS TEMBLORES	11
1.3 MAGNITUD E INTENSIDAD DE UN TEMBLOR	12
2. CARACTERISTICAS DE LOS SISMIOS DE 1985	16
2.1 MAGNITUD E INTENSIDAD	16
2.2 DURACION	17
2.3 LOCALIZACION DEL EPICENTRO	18
<b>CAPITULO II "EXPLOSIVOS"</b>	
1. QUE ES UN EXPLOSIVO	20
1.1 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS	21
2. TIPOS DE EXPLOSIVOS	24
2.1 DINAMITAS	24
2.2 A N F O	25
2.3 HIDROGELES (WATER GELS)	26
3. DISPOSITIVOS DE INICIACION	31
3.1 DISPOSITIVOS DE INICIACION ELECTRICOS	32
3.2 DISPOSITIVOS DE INICIACION NO ELECTRICOS	36
4. DISPARO ELECTRICO DE UNA VOLADURA	41
4.1 REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE Y SEGURIDAD	42
4.2 CONEXION DEL CIRCUITO DE LA VOLADURA	46
4.3 DISENO Y ANALISIS DEL CIRCUITO DE LA VOLADURA	50
5. CALCULO DE LA CARGA EXPLOSIVA PARA DEMOLICIONES URBANAS	57

5.1	DEMOLICION DE TRABES DE CONCRETO	59
5.2	DEMOLICION DE MUROS Y COLUMNAS DE CONCRETO	64
5.3	CARGAS PARA CORTAR ACERO (CARGAS DE SUPERFICIE)	65
<b>CAPITULO III "DEMOLICION DE EDIFICIOS, CON EXPLOSIVOS"</b>		
1.	PERITAJES Y ESTUDIOS PREVIOS A LAS ESTRUCTURAS	70
2.	PRINCIPIOS BASICOS PARA UNA DEMOLICION CON EXPLOSIVOS	73
3.	ACTIVIDADES PRELIMINARES	75
4.	PREPARACIONES NECESARIAS PARA LA VOLADURA	87
5.	MEDIDAS DE SEGURIDAD NECESARIAS	96
6.	ACTIVIDADES FINALES PARA LA DEMOLICION	101
7.	TRABAJOS COMPLEMENTARIOS Y FINALES	108
<b>CAPITULO IV "DETERMINACION DEL COSTO Y PRESUPUESTO DE LA DEMOLICION"</b>		
1.	FACTORES A CONSIDERAR PARA ELABORAR UN PRESUPUESTO DE LOS TRABAJOS DE DEMOLICION POR MEDIO DE EXPLOSIVOS	110
2.	CATALOGO DE CONCEPTOS PARA LOS TRABAJOS DE DEMOLICION CON EXPLOSIVOS Y COSTO DE LOS MISMOS	111
<b>CAPITULO V "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"</b>		
1.	RECOMENDACIONES SOBRE ESTRUCTURACION	118
2.	COMENTARIOS FINALES	121
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>124</b>

# I N T R O D U C C I O N

Los sismos ocurridos el 19 y 20 de septiembre de 1985 sentidos principalmente en la Ciudad de México y en los estados de Jalisco y Michoacán, vinieron a constituir un acervo de nuevas experiencias y conocimientos como resultado de los estudios que se realizaron a este fenómeno así como a los grandes daños por él ocasionados, sobre todo en la zona de terreno blando de esta ciudad.

De los exámenes realizados a las estructuras colapsadas - debido a los efectos destructivos de este fenómeno natural, se obtuvieron nuevos criterios técnicos así como nuevas especificaciones constructivas para que con su aplicación en las edificaciones que se construyan más adelante, aporten un margen de seguridad que reduzca el riesgo de nuevas catástrofes. Así mismo, los nuevos conocimientos adquiridos de técnicos extranjeros especialistas en la demolición de edificios por medio de explosivos, también llamado "Método de Implosión", vinieron a constituir un cúmulo de nuevas experiencias tanto para los ingenieros civiles como para los arquitectos y profesionistas afines a la construcción; conocimientos que esperamos nunca se lleguen aplicar como resultado de otro sismo, sino únicamente para usarse en la demolición de edificios ya obsoletos y construir en su lugar nuevos edificios más funcionales, más seguros y con técnicas más modernas de construcción, los cuales satisfagan las necesidades de nuestra población que día a día es más creciente.

La tesis que a continuación presentamos, es precisamente el resultado de una serie de investigaciones que se realizaron a esta técnica de demolición de edificios usando explosivos, - la cual vino a surgir aquí en México por la necesidad de llevar a cabo lo más pronto posible la demolición de algunas edifica-

ciones que quedaron seriamente dañadas por los sismos antes mencionados.

En el primer capítulo, se mencionan los aspectos generales acerca de los temblores por ser estos los causantes de los daños ocasionados a las estructuras. Así mismo se analizan las características de los sismos a los cuales estamos haciendo referencia, como son su magnitud, intensidad, duración y localización de su epicentro, esto con el fin de comprender el porqué estos sismos causaron tanto daño a las edificaciones, las cuales algunas tuvieron que ser demolidas por la gravedad de los daños presentados.

En el segundo capítulo se hace mención de las características, tipos y usos más comunes que tienen los explosivos en la Ingeniería Civil. Se realiza un resumen de los dispositivos de iniciación mencionando además los requerimientos de corriente y seguridad necesarios para poder llevar a cabo una voladura. Además se dan las pautas para poder realizar las conexiones así como el diseño y análisis del circuito de la voladura. Se explica también a través de ejemplos, la manera en que se calculan las cargas explosivas necesarias para realizar la voladura de una edificación.

Por lo que se refiere al tercer capítulo, en este se mencionan los principios básicos que hay que tomar en cuenta para poder realizar la demolición de una estructura usando explosivos. Aquí se señalan las actividades preliminares y las preparaciones necesarias que se deben de llevar a cabo en la estructura para poder efectuar la demolición de esta misma, tomando en cuenta además, las medidas de seguridad necesarias para que no se presente alguna contingencia durante el desarrollo de los trabajos o al final de la voladura.

En el cuarto capítulo, se señalan los factores más importantes que se deben de tomar en cuenta para poder realizar un presupuesto de estos trabajos, dando además como una guía para comprender mejor como se fueron ejecutando éstos de acuerdo a una planeación previa de la obra, un catálogo de conceptos con costos actualizados al mes de enero de 1992, de acuerdo al último índice económico editado por el Banco de México.

Finalmente en el último capítulo de esta tesis, se dan una serie de recomendaciones estructurales obtenidas tanto de la experiencia de ingenieros especialistas en la materia, como -- del nuevo Reglamento de Construcción del Distrito Federal; esto es con la finalidad de dar a conocer de una manera breve pero concisa, la manera en que se deben de construir de ahora en adelante las edificaciones, para que éstos sean más seguros y más confiables, de tal manera que en futuros terremotos ya no se vuelva a presentar este tipo de experiencias.



C A P I T U L O I

" A N T E C E D E N T E S "

## 1. ASPECTOS GENERALES ACERCA DE LOS TEMBLORES

### 1.1 ORIGEN Y DEFINICION DE UN TEMBLOR

Se define como Temblor, a la vibración de la corteza terrestre misma que puede ser producida ya sea por una erupción volcánica o por un desplazamiento de taludes, o bien por el colapso de techos de cavernas o minas y principalmente por el acomodamiento de las placas tectónicas en que se encuentra dividida la corteza terrestre; fenómeno también llamado "Tectonismo".

A los temblores se les conoce también como Sismos o Terremotos, siendo los más importantes desde el punto de vista ingenieril los de origen tectónico, ya que estos por las intensidades que alcanzan originan serios problemas a las estructuras.

### 1.2 ESTUDIO TECTONICO Y CAUSAS DE LOS TEMBLORES

Las principales placas tectónicas que existen en el planeta son las siguientes: Norteamericana, Sudamericana, Del Pacífico, Euroasiática, Indoaustraliana, China, Antártica, Africana, Arábiga, Filipina, De Cocos, De Nazca, Del Caribe, Iraní y Helénica.

Existe un tipo de movimiento entre las placas tectónicas llamado "Subducción", causante de la mayor parte de los sismos en la República Mexicana. Este fenómeno consiste en que una de las placas penetra bajo la otra, originando con ello grandes cordilleras y sierras como es el caso de la Sierra Madre del Sur, en México.

La República Mexicana al estar dentro del Cinturón Circunpacifico, que es una de las dos zonas sísmicas en el mundo la cual libera del 80 al 90% de la energía sísmica mundial --

(la otra es el Cinturón Alpino, ver fig. No. 1), se ve afectada por los movimientos telúricos causados por la subducción - de la Placa De Cocos, la cual penetra por debajo de la Placa de Norteamérica frente a las costas de los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco (Fig. No. 2).

Otro tipo de movimiento que suele existir entre las placas es el llamada "Lateral", que consiste en desplazamientos relativos laterales como es el caso de la Placa de Norteamérica y del Pacífico, que tiene lugar a lo largo de la falla de San Andres y que en la República Mexicana a lo largo de Baja California y Norte de Sonora así como también a lo largo del Eje Neovolcánico, el cual atraviesa al país de lado a lado en su parte central; es otro de los causantes del gran número de sismos en México (Fig. No. 2).

Debido a que las superficies de contacto de las placas tectónicas son muy irregulares, se generan fricciones entre ellas al haber algún desplazamiento, dando por resultado una acumulación de energía potencial, la cual es liberada al rebasarse la resistencia de la roca a la fractura en algunas zonas de contacto entre las placas, originando con esto los sismos.

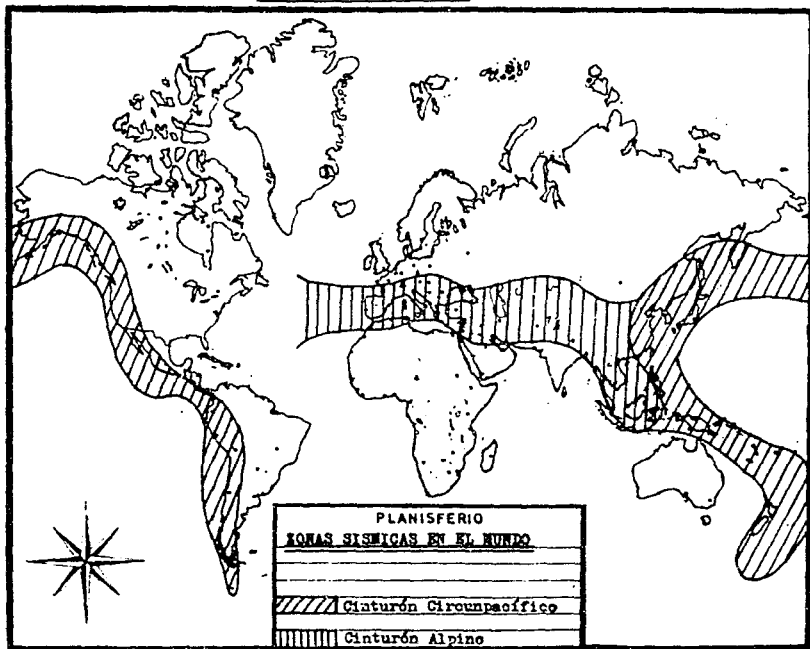
Resumiendo entonces, el tamaño de un sismo depende de la cantidad de energía acumulada liberada, así como de la superficie que se desplace y de cuanto se desplace.

### 1.3 MAGNITUD E INTENSIDAD DE UN TEMBLOR

La magnitud y la intensidad de un temblor son dos conceptos totalmente distintos, pero que a la vez crean bastante -- confusión en su utilización.

FIGURA No. 1

13





La magnitud es equivalente al tamaño del temblor en el lugar donde se origina, teniendo un valor diferente y único para cada evento; dicha magnitud se obtiene por medio de un Sismógrafo el cual a través de la escala de medición llamada de -- "Richter", nos da el valor de la magnitud para cada sismo.

Se ha observado que los sismos empiezan a causar problemas a las estructuras a partir de la magnitud de cinco grados en adelante, ya que por ejemplo los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985 que causaron una gran destrucción en la capital mexicana, tuvieron una magnitud de 8.1 y 7.5 grados respectivamente, en la escala de Richter.

Por otra parte, la intensidad es la medida de los efectos destructivos de un temblor y tendrá diferente valor según el lugar donde sea sentido el movimiento telúrico.

Debido a que los efectos más importantes producidos por un sismo son los daños a las edificaciones y como los sistemas constructivos han ido evolucionando con el tiempo, ha sido necesario modificar también las escalas de medición para adecuarlas a estos nuevos sistemas de construcción, siendo la escala más empleada hoy en día aquí en América, la de "Mercalli", modificada en 1956 por Richter. Esta escala tiene doce grados, desde el temblor grado I detectado únicamente por instrumentos pero no sentido por las personas, hasta el temblor grado XII que corresponde a una destrucción total. Es así como por ejemplo, el grado VIII nos indica un temblor que nos va a ocasionar dificultad para conducir un vehículo, se rompen algunas ramas de los árboles y se abren grietas en el piso y se presentan además daños en los distintos tipos de mampostería, hay caídas de chimeneas, etc.

## 2. CARACTERISTICAS DE LOS SISMOS DE 1985

### 2.1 MAGNITUD E INTENSIDAD

El sismo del 19 de septiembre al cual hemos hecho referencia desde el inicio de esta tesis, ha sido uno de los más destructivos en la historia de esta metrópoli, teniendo como características principales su gran magnitud e intensidad.

Por lo que se refiere a la magnitud de este sismo, tuvo un valor de 8.1 grados en la escala de Richter y aunque en lo que va del presente siglo ya habían ocurrido en el país por lo menos siete sismos de magnitud considerable los cuales seguramente se sintieron con gran intensidad, ninguno fué tan destructivo como este de 1985, debido principalmente a que en las fechas en que ocurrieron (1900, 1903, 1907, 1928, 1931 y 1957) - la Ciudad de México no tenía tantos edificios construidos ni estaba tan densamente poblada.

Por otra parte, las recomendaciones sobre Diseño Sísmico del Reglamento de Construcción del Distrito Federal, se basaron en lo últimamente observado del sismo del 28 de julio de 1957, el cual tuvo una magnitud de 7.5 grados en la escala de Richter (revisiones recientes dan un valor correcto de 7.7 -- grados) y aunque la diferencia entre 7.5 y 8.1 grados parezca pequeña, la energía liberada estimada a partir del valor de la magnitud es del orden de ocho veces más grande en el segundo caso, así como sus efectos destructivos como quedó demostrado.

En cuanto a la intensidad del sismo, esta fué variable - en unos 800,000 km<sup>2</sup> del territorio nacional sintiéndose principalmente en los estados de Guerrero, Michoacán, Colima, México y el Distrito Federal.

Las intensidades asignadas con base en la escala de Mercalli modificada, fueron las siguientes: de grado VIII a IX - en Lázaro Cárdenas y de IX en Playa Azul, en el estado de Michoacán; de grado VIII en Ciudad Guzmán, Jalisco; de VII en - Ixtapa Zihuatanejo y VI en Acapulco, Guerrero; y de grado VI en Manzanillo, Colima. Por lo que respecta al Distrito Federal, las intensidades variaron de VI en la periferia del Valle de México hasta VIII, IX y quizá hasta X en algunas zonas del centro de la ciudad.

Generalmente un sismo tiene numerosas réplicas, siendo en este caso la más importante la del 20 de septiembre por la tarde, la cual tuvo una magnitud de 7.5 grados en la escala - de Richter. Esta réplica provocó el colapso de varios edificios que seguramente quedaron dañados por el sismo del día anterior.

## 2.2 DURACION

Otro aspecto muy significativo del sismo del 19 de septiembre fué su larga duración, lo que hace pensar a los científicos que se trató en realidad de dos fenómenos superpuestos con un defasamiento de 26 segundos entre ellos.

Debido al aspecto anterior, esto determinó que la mayoría de las estructuras de las edificaciones que sufrieron el colapso total, mismas que hubieran resistido 4 o 5 ciclos en condiciones normales de un sismo, no resistieran un movimiento telúrico de más de 20 ciclos como fué en este caso; además de que en una buena parte de la zona de terreno blando, las ondas sísmicas adquirieron características armónicas con un período dominante de vibración de dos segundos para los estratos de arcilla con profundidades de 30 a 40 metros.



El período de vibración mencionado se mantuvo casi constante durante la mayor parte del evento, lo que influyó para que se generara el fenómeno de resonancia (del sistema suelo-cimentación- estructura) en determinadas estructuras cuyo período de oscilación era cercano a los dos segundos, lo que se tradujo en un incremento en la severidad de los movimientos a que fueron sometidas dichas edificaciones, provocando grandes daños a las mismas e incluso el colapso total.

### 2.3 LOCALIZACION DEL EPICENTRO

El epicentro del sismo del 19 de septiembre se ubicó en una zona cercana a la desembocadura del Río Balsas, frente a las costas de Guerrero y Michoacán, a unos 400 km de la Ciudad de México, en la zona de quietud sísmica o brecha sísmica de Michoacán misma que no había tenido actividad hacía mucho tiempo; y con una profundidad focal estimada de 16 km. El sismo en estudio fué producido por el fenómeno llamado de "Subducción", mismo que se lleva a cabo con la placa de Cocos la cual penetra bajo la placa Americana, causantes como ya se dijo anteriormente de la mayor parte de los sismos en la República Mexicana.

Se considera que el desplazamiento promedio entre las placas fué de 1.40 m en una zona de ruptura con una superficie de 13,500 km<sup>2</sup> y con un rompimiento de 180 km a lo largo de la fosa y 75 km en dirección perpendicular.

Por lo que respecta al sismo del 20 de septiembre, este tuvo una profundidad focal de 20 km y una superficie de ruptura de 90 x 40 km respectivamente.

C A P I T U L O    I I

" E X P L O S I V O S "

## 1. QUE ES UN EXPLOSIVO

Los explosivos son sustancias de poca estabilidad química, capaces de transformarse rápida y violentamente en gases con un incremento de temperatura considerable, produciendo una gran cantidad de energía como resultado de una combustión o de detonación, lo cual a su vez produce la explosión.

En general, un explosivo tiene tres características básicas que son las siguientes:

- a) Es un compuesto o mezcla química que se inicia mediante calor o combustión como sucede con la pólvora o -- también, debido a un golpe, impacto, fricción o por la - combinación de estas condiciones.
- b) Después de la ignición, ésta se descompone rápidamente en una detonación como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio, mismos que más adelante se describen.
- c) Posterior a la detonación, se lleva a cabo una liberación rápida de calor y de grandes cantidades de gases de alta presión, los cuales se expanden rápidamente - con fuerza suficiente para vencer las fuerzas confinantes que se encuentran a su alrededor, como sucede en un barreno con explosivos.

Por lo que respecta a las voladuras comerciales, la energía liberada por la detonación del explosivo produce cuatro efectos básicos que son:

- a) Fragmentación de la roca
- b) Desplazamiento de la roca
- c) Vibración del suelo
- d) Golpe de aire

El conocimiento de los explosivos, proporcionó al hombre una herramienta con la que podía efectuar en cuestión de segundos una labor demoleadora, misma que por métodos convencionales le llevaría mucho tiempo realizar, como es el caso de la demolición de edificios que en esta tesis trataremos mas adelante.

El uso de los explosivos además del bélico que se le ha dado, se ha ampliado básicamente en los trabajos de minería - bajo tierra y de tajo abierto, así como en la construcción de grandes obras de Ingeniería, como por ejemplo: presas, vías de comunicación, túneles diversos, sistemas de riego y drenaje - como es el caso del Drenaje Profundo de la Ciudad de México; en la explotación de bancos de material para la obtención de materia prima para la construcción y últimamente a partir de los años 50, se han venido usando en la demolición de edificios obsoletos o dañados por los sismos, como es el caso de los -- edificios demolidos en esta ciudad.

### 1.1 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

De acuerdo a investigaciones hechas por los principales fabricantes de explosivos, se ha podido determinar que cada - explosivo en particular tiene ciertas características específicas mismas que son definidas por sus propiedades, las cuales al paso de los años los científicos han desarrollado métodos para medirlas y relacionarlas con el rompimiento de la roca. Mediante el conocimiento de qué propiedades son críticas para el desempeño de un cierto trabajo, los explosivos pueden ser diseñados para lograr una mayor eficiencia en el desempeño del mismo, además de que nos permiten elegir al más adecuado de - acuerdo al uso específico que se le quiera dar.

Las principales propiedades de los explosivos sin entrar de lleno a la definición de cada una de ellas (para una mayor información de las mismas, se recomienda consultar las referencias 3 y 4 de la bibliografía de esta tesis), son las siguientes:

- Velocidad de detonación
- Densidad (Peso Volumétrico)
- Presión de detonación
- Energía - Potencia (Fuerza)
- Resistencia al agua
- Sensitividad
- Sensibilidad
- Humos y emanaciones (Gases Tóxicos)
- Flamabilidad

Cabe mencionar que dos explosivos no pueden tener exactamente el mismo desempeño aunque sean del mismo tipo, debido a que también intervienen las características propias del material que se va a volar, así como del grado de compactación que se le dé al explosivo dentro del barreno.

Otro punto muy importante es la selección del explosivo para su aplicación en un cierto trabajo determinado, para lo cual se deberá de tomar en cuenta su costo y sus propiedades, ya que se debe de escoger aquel que nos dé la máxima eficiencia y los mejores resultados al menor costo posible. La tabla No. 1 nos da una guía de las propiedades de los explosivos así como el uso sugerido que se les puede dar a los mismos.

TABLA No. 1

<u>TIPOS Y PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS DE USO MAS COMUN EN LAS VOLADURAS</u>						
TIPO	AGENTE EXPLOSIVO	FUERZA	VELOCIDAD	RESISTENCIA AL AGUA	EMANACIONES	U S O
Dinamita Nitroglicerina	Nitroglicerina	---	Alta	Buena	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Extra	Nitroglicerina y amoniaco	20 a 60%	Alta	Regular	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.
Granulada	Amoniaco	25 a 65%	Baja	Muy mala	Exceso de gases	Trabajos a cielo abierto.(canteras)
Gelatina	Amoniaco	30 a 75%	Muy alta	De Buena a Excelente	De muy pocos gases a nulos	Sismología. Trabajos submarinos y subterráneos
ANFO	Amoniaco	---	Alta	Ninguna	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.
Hidrogeles	Amoniaco	40 a 75%	Muy alta	Excelente	Muy pocos gases	Trabajos a cielo abierto y subterráneos.

## 2. TIPOS DE EXPLOSIVOS

### 2.1 DINAMITAS

Las dinamitas modernas se pueden definir como mezclas sensibles al fulminante, las cuales contienen nitroglicerina (o -nitroalmidón) ya sea como sensibilizador o como el principal -medio para desarrollar energía, la cual cuando se inicia apropiadamente se descompone a la velocidad de detonación. El principal defecto de este explosivo es su contenido de nitroglicerina, la cual la hace peligrosa de fabricar, transportar y --usar. Debido a lo anterior, las principales compañías fabricantes de explosivos, se dieron a la tarea de investigar y encontrar un explosivo mas seguro, naciendo de esta manera los Hidrogeles (Water Gels), explosivos que más adelante se detallan.

Cuando se selecciona una dinamita para cualquier propósíto específico especialmente para uso bajo tierra, un número -de factores deberá de ser considerado. Los más importantes son los siguientes: por lo que respecta al material que va a ser volado se deben de considerar su densidad, dureza, resistencia, friabilidad y grado de fragmentación; por lo que respecta al barreno, se deberá de considerar y tomar en cuenta el grado -de humedad o resequedad que presente; cuando se trabaje en lugares bajo tierra se considerará la cantidad de ventilación -así como la presencia de gases combustibles o polvo. Cada voladura presenta alguna variedad de estas condiciones y por lo tanto, una dinamita con la adecuada combinación de propiedades y con el empaque apropiado deberá de escogerse.

Existen tres tipos básicos de dinamitas: granuladas, semigelatinas y gelatinas. Las dos últimas contienen Nitro-Algodón, el cual es un nitrato celuloso que se combina con la nitrogli-

cerina para formar una gelatina cohesiva, donde la viscosidad de este producto depende del porcentaje de nitro-algodón que contenga.

Cabe mencionar además, que las dinamitas difieren también por los materiales que se usan para proporcionar su principal fuente de energía. Es así como las dinamitas "Puras" tienen - como compuesto principal de su fuente de energía, a la nitroglicerina (NG), aumentada por la reacción de varios absorbentes activos como son el nitrato de sodio y los combustibles - carbonosos. Por lo que se refiere a las dinamitas amoniacaes o "Extras", el nitrato de amonio reemplaza una gran porción - de "NG" para dar así un producto más barato y más resistente al impacto, siendo además la principal fuente de energía de - este explosivo, por lo que la "NG" solo sirve como sensibilizador unicamente.

## 2.2 A N F O

El nitrato de amonio (NA), es un ingrediente esencial en casi todos los explosivos comerciales incluyendo a la dinamita y a los hidrogeles (water gels). Su uso predominante es en la forma de gránulos de "NA" los cuales son pequeñas bolitas poro sas mezcladas con aceite combustible. Este producto conocido como "A N F O", por su consumo anual viene a representar el - 80% del mercado de los explosivos comerciales y desde su introducción en 1950 ha tenido una gran aplicación en las voladuras como son en la industria minera, canteras y en la construcción. Su popularidad se debe a su economía y aunque dentro de sus limitaciones como son la nula resistencia al agua y baja densidad, aún así tiene gran aceptación en el mercado.



La densidad de partícula de los gránulos de "NA" para fines explosivos (su otro uso es como fertilizante agrícola), - va de 1.40 a 1.50 gr/cc. Además los huecos de un granulado explosivo poroso y menos denso, permiten absorber y retener el aceite combustible a la vez que mejoran la sensibilidad al actuar como asiento para puntos calientes de alta temperatura, también llamados puntos de ignición. Dependiendo del tamaño - de partícula del "NA" y del método de empaçado, la máxima densidad práctica de las mezclas ANFO, es de cerca de 1.10 gr/cc ya que arriba de 1.20 gr/cc. su sensibilidad decrece rapida-- mente, no detonando con rapidez y con problemas de iniciación inclusive.

El uso de este tipo de explosivos bajo tierra, requiere de un estricto control sobre la cantidad de aceite combustible en el ANFO, con la finalidad de minimizar la producción - de los gases tóxicos.

### 2.3 HIDROGELES (WATER GELS)

Dado que los explosivos usados en la demolición de los - edificios dañados en esta ciudad fueron de este tipo (Tovex - 100 de Dupont y Godyne-100 de Atlas), hablaremos un poco más sobre las características y propiedades de estos.

Esta línea de explosivos tiene un desempeño igual o me-- jor que el de las dinamitas, siendo además una línea de produc-- tos que ofrece al personal de voladuras, una amplia variedad de energías, velocidades, sensibilidades y otras propiedades físicas. Además es más seguro en su fabricación así como en su transporte y uso.

Desde 1958, Dupont ha venido fabricando hidrogeles (water gels) bajo la marca "Tovex" para ser usados en barrenos de diámetro grande y posteriormente en la década de los años 60, se desarrolló un sensibilizador químico llamado nitrato de monometilamina (MMAAN) con el cual se podría confiablemente depender para proporcionar una detonación en barrenos tan pequeños hasta de una pulgada de diámetro.

Además de las ventajas referentes al reducido riesgo de detonación accidental por impacto, choque o combustión que -- tiene este explosivo así como el "Dataprime" que es el cebo -- de iniciación compañero del mismo, existen otras entre las -- cuales destacan las siguientes:

- Mayor control en la densidad del barreno.  
La densidad del barreno puede ser substancialmente -- incrementada al rajar o retacar los cartuchos del explosivo, dentro del barreno mismo.
- Flexibilidad mejorada en la carga.  
Técnicas para ahorrar tiempo y trabajo, han sido introducidas para cargar hidrogeles encartuchados y bombeables así como también para los que son vaciados.
- Se obtiene una excelente fragmentación.
- El peligro de propagación de barreno a barreno es mínimo.
- Se reduce considerablemente la emanación de gases tóxicos y humos.
- Eliminación de dolores de cabeza los cuales eran producidos por la nitroglicerina, misma que se eliminó -- en este explosivo.

Por lo que se refiere a las propiedades que tienen los - hidrogeles además de una mayor seguridad como se mencionó anteriormente, existen estas otras: menor sensibilidad, excelente resistencia al agua, mayor velocidad de detonación, energía más concentrada y densidad de barreno más alta.

Conviene mencionar que la "Energía" contenida por un explosivo, determina la cantidad de trabajo que es capaz de realizar. El que dicha energía sea completamente desarrollada y utilizada adecuadamente, depende de que tan eficientemente el explosivo ha sido cebado, confinado y protegido de factores o agentes deteriorantes como el agua por ejemplo. La energía es expresada normalmente en calorías/gramo, aunque también se -- usa el pie/libra. La energía disponible para consumo directo en voladuras, varía de 700 a 1,460 cal/gr por lo que para convertir estos valores a unidades inglesas, solo multiplíquese por el factor 1,402.

En cuanto a la "Sensibilidad" de un explosivo, lo ideal es que sea sensible a la iniciación mediante cebos de iniciación e insensible a la iniciación accidental, cosa que sucede con los hidrogeles; pero se debe de tomar en cuenta que la sensibilidad de este producto puede ser afectada por la temperatura, por lo que en temperaturas altas de trabajo la sensibilidad también se incrementa.

Con respecto a la "Densidad", diremos que esta fluctúa de 0.80 a 1.60 g/cc., con la mayoría de las gelatinas con una densidad entre 1.10 y 1.35 g/cc.

Por lo que a la "Velocidad de detonación" se refiere, esta se incrementa cuando su diámetro y grado de confinamiento aumenta.

En la tabla No. 2 siguiente y de acuerdo a la referencia No. 3 de esta tesis, se muestran las características de los hidrogeles fabricados por la Compañía Dupont, en sus varios tamaños y productos comerciales.

TABLA No. 2  
HIDROGELES (WATER GELS) DE DUPONT

Producto de Dupont	Diámetro (in)	Densidad (gr/cc)	Velocidad (m/seg)	Resistencia al agua	Clase de g.tóxicos	Sensibilidad al fulminante
Tovex 90	1- 1 1/2	0.90	4,300	Buena	1	Si
Tovex 100	1- 1 3/4	1.10	4,500	Excelente	1	Si
Tovex 200	1- 1 3/4	1.10	4,800	Excelente	1	Si
Tovex 300	1- 1 1/2	1.02	3,400 ++	Buena	A	Si
Tovex 500	1 3/4- 4	1.23	4,300	Excelente	1	No
Tovex 650	1 3/4- 4	1.35	4,500	Excelente	1	No
Tovex 700	1 3/4- 4	1.20	4,800	Excelente	1	Si
Tovex 800	1 3/4- 4	1.20	4,800	Excelente	1	Si
Tovex T-1	1	0.25 lb/ft	6,700	Buena	3	Si
Tovex P	2 - 4	1.10	4,800	Excelente	1	Si
Tovex S	2 1/4 y 2 1/2	1.38	4,800	Excelente	-	Si
Tovex C	En bolsas			Excelente	1	Si
Tovex Extra	4 - 8	1.33	5,700	Excelente	-	No
Fourvex Extra	3 1/2 o + vaciado	1.33	4,900	Excelente	-	No
Drivex	1 1/2 o + bombeado	1.25	5,300	Excelente	1	No

++ No confinados

### 3. DISPOSITIVOS DE INICIACION

Los dispositivos de iniciación, son los dispositivos que se emplean para cebar las cargas explosivas así como también de suministrar o transmitir una llama que inicie la explosión de la carga o bien de llevar la onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra. Como su nombre lo indica, son productos que inician o propician una explosión.

Cabe mencionar que se entiende por cebado, a la acción de colocar una porción de materia explosiva (cebo) en los barrenos para provocar la explosión de la carga. Por lo tanto, el cebo es la porción de la carga explosiva que consiste en un cartucho o recipientes de explosivos, dentro del cual se inserta un detonador o un cordón detonante con el propósito de iniciar la carga principal de los explosivos.

La importancia que tienen los dispositivos de iniciación, es que con ellos se logran mejores resultados en cualquier operación de voladura, siempre y cuando estos se elijan y utilicen cuidadosa y adecuadamente. Entre los dispositivos de iniciación más comunes están los siguientes: los detonadores o estopines eléctricos, los fulminantes no-eléctricos para ser usados con mecha de seguridad y los fulminantes de retardo no-eléctricos para ser usados con cordón detonante, así como también los cordones detonantes, los dispositivos de retardo de cordón detonante, los conectores "MS" y los dispositivos para ensamblar y encender las unidades de "Fulmiante y mecha".

Puesto que los dispositivos de iniciación están hechos para explotar, esto implica que deberán de ser tratados con el mismo cuidado y precaución como si se tratara de un explosivo en sí. Los dispositivos de iniciación se dividen en dos cate-

gorias dependiendo de su fuente de energía primaria y son: --  
eléctricos y no-eléctricos.

### 3.1 DISPOSITIVOS DE INICIACION ELECTRICOS

Dentro de este grupo se encuentran los detonadores tam--  
bién llamados "ESTOPINES", entendiéndose por detonadores a los  
dispositivos que sirven para disparar una carga explosiva, --  
siendo los más ampliamente usados los estopines eléctricos, -  
los cuales a su vez se dividen en estopines eléctricos instantáneos  
y estopines eléctricos de retardo también llamados de  
tiempo.

Debido a las características propias de estos últimos, -  
lo cual determinó que se emplearán en los trabajos de demoli-  
ción urbana en esta ciudad y cuyo estudio es el objetivo de -  
esta tesis, veremos con más detalle estos estopines para com-  
prender mejor sus efectos en los disparos de las voladuras --  
que se llevaron a cabo en las demoliciones de los edificios -  
dañados a raíz de los sismos de 1985 en la Ciudad de México.

Con la energía eléctrica suficiente y necesaria así como  
de un buen circuito de voladura diseñado, un gran número de -  
estopines eléctricos pueden ser iniciados desde una sola fuen  
te de corriente, en un lugar seguro y a distancia del área de  
la voladura. Con ellos pueden iniciarse al mismo tiempo varias  
cargas de explosivos de gran potencia así como controlar con  
precisión el momento justo de la explosión.

El diseño básico de un estopín eléctrico consiste en un  
casco metálico cilíndrico que contiene varias cargas de pólv-  
ora. La energía eléctrica llega al estopín mediante dos con-  
ductores eléctricos los cuales se introducen al mismo a tra--  
vés de un tapón de hule o de plástico; dicho tapón forma un -

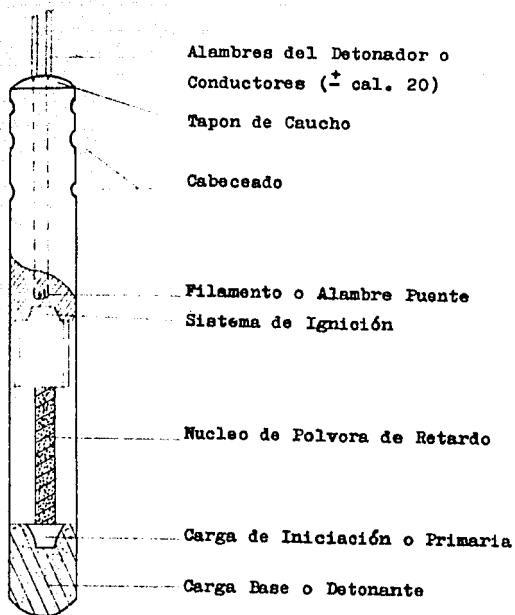
cierre hermético resistente al agua colocando firmemente los extremos de los alambres conductores al casco del estopín. Los extremos de los alambres son unidos dentro del fulminante por un alambre de corta longitud y de alta resistencia llamado "Alambre-Fuente" o "Filamento", el cual queda empotrado en la mezcla de ignición del estopín. Al pasar la corriente eléctrica a través del sistema, el alambre puente se calienta para iniciar así la mezcla de ignición (Ver fig. No. 3).

Por lo que se refiere a un estopín eléctrico instantáneo, la mezcla de ignición provoca que la carga primaria detone, -- provocando a su vez la detonación de la carga base de alto -- explosivo. Mientras que en un estopín eléctrico de retardo, -- la mezcla de ignición inicia el núcleo de pólvora de retardo el cual se consume a un tiempo predeterminado antes de iniciar la carga primaria la cual a su vez detonará la carga base también llamada carga detonante. La proporción en que se consume la pólvora de retardo y la longitud de su columna, determina el período o intervalo de tiempo entre la aplicación de la -- energía eléctrica y la detonación del estopín.

Cada estopín eléctrico de retardo "MS" tiene una tarjeta distintiva numerada o etiqueta de color, para facilitar la -- identificación de cada período de retardo o sea el número de milisegundos que tarda en producirse el disparo, además de -- que nos muestra el número de secuencia de retardo.

La tabla No. 3 nos muestra los tiempos nominales de cada período de retardo para este tipo de estopines, en una de las marcas de mayor uso en el mercado.





**FIG. No. 3** Estopín Eléctrico de Retardo,  
También Llamado de Tiempo

TABLA No. 3

## SERIES DE RETARDO DE MILLISEGUNDOS (MS) DE DUPONT

Período de Retardo	Tiempo de Retardo Nominal (Milisegundos)	Color de la Tarjeta de Retardo
1	25	Negra
2	50	Roja
3	75	Azul
4	100	Amarilla
5	125	Verde
6	150	Naranja
7	175	Blanca
8	200	Olivo
9	250	Café
10	300	Color de ante
11	350	Blanca

La potencia del estopín depende de la cantidad de la carga detonante o carga base que contenga el mismo. Generalmente los estopines eléctricos de uso más frecuente son con una potencia del No. 8.

Puesto que la construcción interna de los estopines eléctricos fabricados por diferentes compañías varía considerablemente, lo cual los hace incompatibles en un mismo circuito de voladura ya que sus sistemas de ignición pueden no ser eléctricamente compatibles, nunca deberán de usarse estopines eléctricos de diferentes marcas en un mismo circuito.

Hay que recalcar que el disparo con estopines de retardo en las voladuras, tiene como finalidad mejorar la fragmentación y desplazamiento de la roca, además de proporcionar un mayor control de las vibraciones, ruido y proyecciones, con lo cual se reducirá el factor de carga y con esto el costo de los acarreos.

Los estopines eléctricos de retardo "MS", son los más ampliamente usados para los trabajos en canteras, minería a cielo abierto y proyectos de construcción además de los trabajos de demolición urbana que a partir de los años 60 se han venido realizando en los Estados Unidos y ahora últimamente en esta metrópoli como resultado de los sismos antes vistos.

Es bien importante señalar que la dirección de caída del edificio a demoler, se logra por medio de la detonación de las cargas explosivas mediante el disparo con estopines eléctricos de tiempo o de retardo, calculandolos y colocandolos dentro de la estructura del edificio de una manera especial para cada caso en particular. Como se comprendera, el éxito de estos trabajos solo se logra a través de la experiencia y de las observaciones de los trabajos que se van realizando.

### 3.2 DISPOSITIVOS DE INICIACION NO-ELECTRICOS

En este grupo se encuentran los estopines no-eléctricos también llamados fulminantes de mecha o fulminantes ordinarios, los cuales proporcionan un método no eléctrico de iniciar las cargas explosivas cuando se usan apropiadamente en conjunto con la mecha de seguridad. Esta mecha conduce una llama en una proporción relativamente uniforme hacia el fulminante, donde este a su vez enciende la carga de ignición.

El método de iniciación de fulminante y mecha, se usa -- principalmente para disparar voladuras de barrenos múltiples en trabajos de minería, donde el encendido rotacional es necesario y la electricidad externa puede hacer que el encendido eléctrico sea peligroso. Por tal razón, a esta mecha se le conoce como "Mecha para Minas" o "Cafuella".

Es importante señalar que la mecha se consume en su núcleo y no en su recubrimiento, ya que este puede quemarse sin la ignición del núcleo lo que puede ocasionar grandes daños o accidentes si no se toma esto en cuenta. Debido a que existen varias marcas en el mercado, antes de usar una mecha de seguridad se deberá de conocer la velocidad de combustión de la mecha que se esté empleando. Por lo que se refiere a la mecha de seguridad que más se emplea aquí en México, a esta se le conoce o se la denomina: "Mecha Clover".

Otro de los dispositivos de iniciación no-eléctricos que merece especial atención por el uso que tiene en las voladuras en general, es el "Cordón Detonante". Este es un dispositivo confiable que contiene un núcleo central de alto explosivo -- usualmente de Tetranitrato Pentaeritrol (PETN) conocido también como Pentrita, el cual está cubierto con varios materiales que lo protegen del agua, aceite u otros elementos dañinos así como del mal manejo y temperaturas extremas; además que le proporciona características esenciales como son la resistencia a la tensión, mayor flexibilidad y mejor manejo.

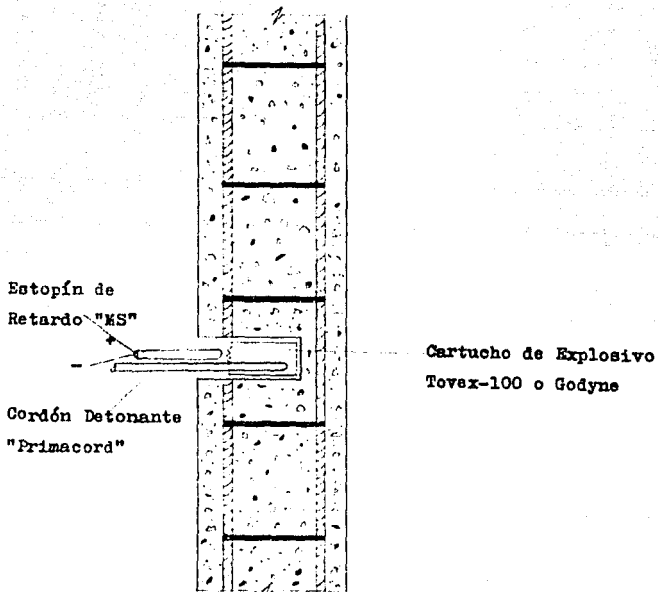
Este cordón es relativamente insensible, por lo que requiere para su iniciación un fulminante de potencia del No. 6 como detonador. Por su parte, el "PETN" tiene una velocidad de detonación de 6,700 m/seg lo que lo hace ser un dispositivo deto-

nante seguro y confiable. La habilidad del cordón detonante - para iniciar otros explosivos, depende en gran parte de la -- densidad del núcleo del "PETN" o de los granos de "PETN" por pie lineal de cordón. De cualquier manera, hay que asegurarse en todos los casos que el cordón detonante tenga la potencia suficiente para iniciar el cebo de iniciación o la carga ex-- plosiva.

El uso del cordón detonante es principalmente para hacer disparar múltiples barrenos en la superficie, ya sean verticales u horizontales, siendo ilimitado el número de barrenos que puedan dispararse en esta forma. En México, el cordón detonante más ampliamente usado en las demoliciones urbanas, fue el llamado "Primacord", aunque existe otro también de gran demanda llamado "E-Cord".

Por lo que se refiere a las demoliciones urbanas realizadas en esta ciudad a raíz de los sismos de 1985, el "Sistema de Encendido" fué a base de dos tipos de detonantes explosivos para seguridad y precisión en los tiempos de explosión en cada uno de los barrenos. El "Primacord" o cordón detonante, se colocó en el interior del barreno en contacto directo con el explosivo para así asegurar su detonación. A continuación se instaló el sistema eléctrico requerido para el encendido de - los "Estopines de Tiempo", mismos que son adheridos al primacord para la distribución de los tiempos que han sido previamente determinados (ver Fig. No. 4).

El "E-Cord" por su parte, se usa principalmente en la superficie para hacer detonar los tramos de primacord que se encuentran dentro del barreno. Esto se realiza de tal manera, - debido a que las líneas de encendido por ser las de mayor long



**FIG. No. 4** Corte Esquemático de una Columna,  
Indicando la Manera en que se Colocan  
los Explosivos

gitud requieren de más metros lineales, por lo que para reducir costos se tiende dicho cordón.

Finalmente dentro de este mismo grupo de iniciadores no eléctricos están los "Conectores MS", los cuales son dispositivos de retardo en milisegundos de intervalo corto para usarse en voladuras de tiempo que se inicien en la superficie mediante cordón detonante. Estos se surten en cuatro intervalos de demora identificado cada uno por el color de la pieza y son: MS-5 (cinco milisegundos) en color azul, MS-9 color verde MS-17 color amarillo y MS-25 color rojo.

#### 4. DISFARO ELECTRICO DE UNA VOLADURA

Las investigaciones realizadas en la elaboración de nuevos productos explosivos que sean más eficientes y más seguros, ha provocado también la necesidad de crear mejores técnicas para iniciar y llevar a cabo una voladura con el menor riesgo y mejores resultados. Es así como la voladura eléctrica con adelantos técnicos como son los estopines de retardo y los reguladores de tiempo eléctrico, ha hecho posible el disparo seguro de un gran número de cargas en una secuencia prediseñada, desde un lugar remoto y seguro y con un control preciso sobre el tiempo de disparo.

Para llevar a cabo una voladura eléctrica de manera segura y confiable, además de asegurarnos un éxito de la misma, se deberán de seguir las siguientes recomendaciones:

- 1o. Seleccionar y trazar apropiadamente el circuito de la voladura.
- 2o. Seleccionar una fuente adecuada de energía eléctrica compatible con el tipo de circuito de voladura seleccionado.
- 3o. Reconocer y eliminar todos los riesgos eléctricos existentes en el sitio de la voladura.
- 4o. Realizar un balanceo del circuito, así como conexiones eléctricas correctas y pruebas del circuito terminado.

La selección del circuito eléctrico, dependerá del número de estopines que van a ser disparados. Es así como un circuito de serie simple se usa en voladuras pequeñas o sea de menos de 50 estopines, mientras que un circuito de series en parale



lo es usado cuando el número de estopines es mucho mayor. Por lo que se refiere a los circuitos en paralelo, estos se usan solo en aplicaciones especiales.

Para llevar a cabo la explosión, se requiere de una máquina explosora la cual suministrará la corriente eléctrica necesaria para disparar los estopines eléctricos. Las hay de dos tipos: de "Generador" y de "Descarga de Condensador", estas últimas son las más usuales en los trabajos de voladuras, ya que ofrecen la fuente de energía eléctrica más segura, confiable y económica.

Por su parte, la resistencia de todos los circuitos eléctricos deberá de calcularse, debiéndose usar un multímetro o un óhmetro o un galvanómetro para verificar dichos cálculos y no se disparará la voladura hasta que las lecturas de campo coincidan con los cálculos teóricos. Cabe recalcar que nunca deberá de usarse un instrumento de prueba que no haya sido diseñado específicamente para circuitos de voladura.

En resumen, es necesario un cuidado extremo al alamburar y probar el circuito para evitar fallas al momento del disparo.

#### 4.1 REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE Y SEGURIDAD

Para poder llevar a cabo y con éxito la iniciación simultánea de un gran número de estopines eléctricos sean instantáneos o de tiempo, se requiere de la entrada suficiente de corriente a los estopines en unos pocos milisegundos, de ahí que el tiempo que se necesita para provocar la combustión de la carga de ignición del estopín, está en función de la intensidad de la corriente, por lo que para un estopín comercial se requiere de por lo menos de 1.5 amperes para asegurar una iniciación confiable.

Para conducir la corriente eléctrica producida por una máquina explosora, se requieren dos alambres llamados "Alambres Guías", los cuales generalmente son de cobre calibre 12. Posteriormente, se distribuye la corriente entre los estopines por medio de "Guías Secundarias" usando para ello alambres de cobre calibre 20. Se deberá tener especial cuidado en no tener los alambres guía hasta que el circuito de la voladura esté completamente alambrado, para que después de esto sean eléctricamente revisados con un multímetro o un óhmetro para voladuras, verificando la continuidad del circuito. Además se hará una revisión ocular para asegurarnos de que no existan cortes o abrasiones en el aislante.

Cabe mencionar que no se debe de permitir que los extremos desnudos del circuito o de la línea guía, entren en contacto directo con el suelo o con cualquier objeto metálico, con el objeto de evitar fugas de corriente de encendido mismas que nos pueden provocar fallas en los estopines y con ello accidentes graves.

Una vez que las lecturas del instrumento confirmen la resistencia calculada, se conectan las líneas guía a la máquina explosora para poder entonces llevar a cabo la voladura. Inmediatamente después, la máquina explosora o el interruptor de voladura, deberán guardarse bajo llave antes de regresar al área de la voladura.

Para probar el circuito apropiadamente, la resistencia teórica del mismo deberá calcularse contando para ello con la ayuda de la tabla No. 4, la cual nos da los valores de las resistencias de los estopines eléctricos de una de las marcas de mayor uso en el mercado, con alambres de cobre o hierro y medida su longitud en pies o en metros, según sea el caso.

TABLA No. 4  
 RESISTENCIA NOMINAL\* DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS DE DUPONT  
 EN OHMIOS POR ESTOPIN

Longitud del alambre en m	Alambre de Cobre		Alambre de Hierro		Longitud del alambre en ft
	Estopines Instantaneos	Estopines de Retardo	Estopines Instantaneos	Estopines de Retardo	
1.22	1.26	1.16	2.10	2.00	4
1.33	1.34	1.24	2.59	2.49	6
2.13	-	-	2.84	-	7
2.44	1.42	1.32	3.09	2.99	8
2.74	-	-	3.14	-	9
3.05	1.50	1.40	3.59	3.49	10
3.66	1.58	1.48	4.09	3.99	12
4.27	1.67	1.57	4.58	4.48	14
4.88	1.75	1.65	5.08	4.98	16
5.19	1.91	1.81	6.08	5.98	20
7.32	2.07	1.97	-	-	24
9.14	2.31	2.21	-	-	30
12.19	2.31	2.06	-	-	40
15.24	2.42	2.32	-	-	50
18.29	2.69	2.59	-	-	60
24.38	2.71	2.61	-	-	80
30.48	3.11	3.01	-	-	100
36.58	3.51	3.41	-	-	120
45.72	4.11	4.01	-	-	150
50.96	5.12	5.02	-	-	200
76.10	6.12	6.02	-	-	250
91.44	7.13	7.03	-	-	300
121.92	9.13	9.03	-	-	400

\* A 68° Fahrenheit. (20° Celsius)

TABLA No. 4  
RESISTENCIA NOMINAL\* DE LOS ESTOPINES ELECTRICOS DE DUPONT  
EN OHMIOS POR ESTOPIN

Longitud del alambre en m	Alambre de Cobre		Alambre de Hierro		Longitud del alambre en ft
	Estopines Instantaneos	Estopines de Retardo	Estopines Instantaneos	Estopines de Retardo	
1.22	1.26	1.16	2.10	2.00	4
1.33	1.34	1.24	2.59	2.49	6
2.13	-	-	2.84	-	7
2.44	1.42	1.32	3.09	2.99	8
2.74	-	-	3.34	-	9
3.05	1.50	1.40	3.59	3.49	10
3.66	1.58	1.48	4.09	3.99	12
4.27	1.67	1.57	4.58	4.48	14
4.38	1.75	1.65	5.08	4.98	16
6.10	1.91	1.81	6.08	5.98	20
7.32	2.07	1.97			24
9.14	2.31	2.21			30
12.19	2.15	2.06			40
15.24	2.42	2.32			50
18.29	2.69	2.59			60
24.38	2.71	2.61			80
30.48	3.11	3.01			100
36.58	3.51	3.41			120
45.72	4.11	4.01			150
50.96	5.12	5.02			200
76.20	6.12	6.02			250
91.44	7.13	7.03			300
121.92	9.13	9.03			400

\* A 68° Fahrenheit. (20° Celsius)

Por lo que se refiere a la tabla No. 5, ésta nos proporciona la resistencia por cada 1,000 pies de alambre de cobre para los distintos calibres, por lo que para conocer esta resistencia por cada 100 metros de alambre, solo hay que multiplicar el valor obtenido por el factor de conversión 0.3281.

TABLA No. 5	
RESISTENCIAS DEL ALAMBRE DE COBRE <sup>†</sup>	
(AWG) CAA Calibre No.	Ohmios por 1,000 pies
6	0.395
8	0.628
10	0.999
12	1.588
14	2.525
16	4.02
18	6.39
20	10.15
22	16.14

(AWG) CAA = Calibre de alambre americano

<sup>†</sup>A 68° Fahrenheit (20° Celsius)

#### 4.2 CONEXION DEL CIRCUITO DE LA VOLADURA

Aunque realmente el objetivo de esta tesis es explicar - como se lleva a cabo la demolición de un edificio dañado u obsoleto usando explosivos, es importante señalar también como se diseña el circuito de la voladura, ya que esto es de vital importancia para lograr un buen trabajo de demolición además de que forma parte de los trabajos de preparación de la estructura. Por lo tanto, es necesario conocer primero como se realizan las conexiones de los estopines eléctricos, razón por lo cual hablaremos a continuación de ello.

Tomando en cuenta el gran número de estopines que se requieren en la preparación de las cargas explosivas y como ya se dijo anteriormente, para este tipo de voladuras se requiere de un "Circuito de Series en Paralelo", por lo que diremos en que consiste y cuales son sus ventajas. Cabe mencionar además, que este tipo de circuito es el más comunmente usado tanto en las voladuras de banqueo como en las demoliciones urbanas, de ahí la importancia del mismo.

La principal ventaja de este tipo de circuito, es el gran número de estopines que pueden dispararse con una sola máquina explosora sin requerir de una gran cantidad de voltaje. Un circuito de series en paralelo, consiste en conectar varias series de estopines lado a lado como se muestra en las figuras 5 y 6. En estas figuras se muestra como la corriente total -- que circula por el circuito, se divide pasando una parte de la misma por cada una de las series, ya que estas proporcionan un camino diferente para el flujo de la corriente. Además cada serie deberá de ser balanceada eléctricamente, de manera -- tal que la lectura que se tome en cada una de ellas, dé el --

mismo número de ohms, lo cual se logra colocando igual número de estopines en cada serie, como se observa en las figuras antes mencionadas.

Cuando un circuito de series en paralelo involucra únicamente estopines de retardo, se requerirá de una corriente mínima de 1.5 amperes para cada serie del circuito. Sin embargo cuando se usan series mezcladas consistentes tanto de estopines instantáneos como de retardo, la corriente mínima será de 2 amperes, debido esto al tiempo de funcionamiento relativamente rápido de los estopines instantáneos. Por tal motivo no se recomienda esta mezcla de estopines.

Por último, la resistencia total de un circuito de este tipo, es igual a la resistencia de una serie dividida entre el número total de series que tiene el circuito. Matemáticamente esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$R_t = \frac{R_e \times N_e}{N_s}$$

Donde:  $R_t$  = Resistencia total del circuito

$R_e$  = Resistencia de cada estopín

$N_e$  = Número de estopines por serie

$N_s$  = Número total de series del circuito

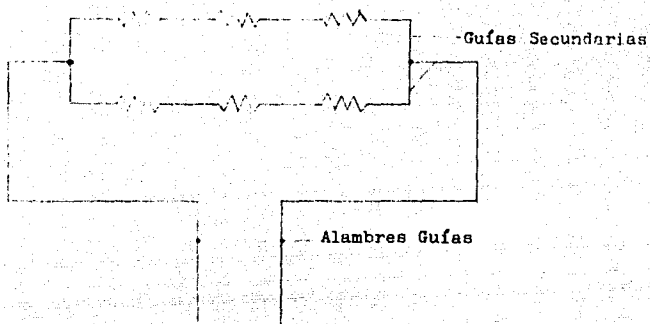


Fig. No. 5-A

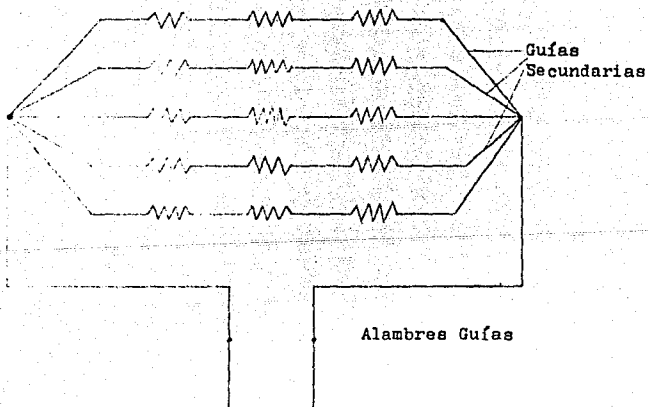


Fig. No. 5-E

FIGS. No. 5 ARREGLOS TÍPICOS DE CIRCUITOS DE  
SERIES EN PARALELO



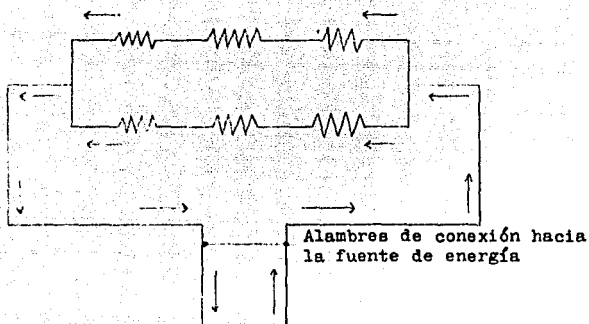


Fig. No. 6-A

Representación Esquemática

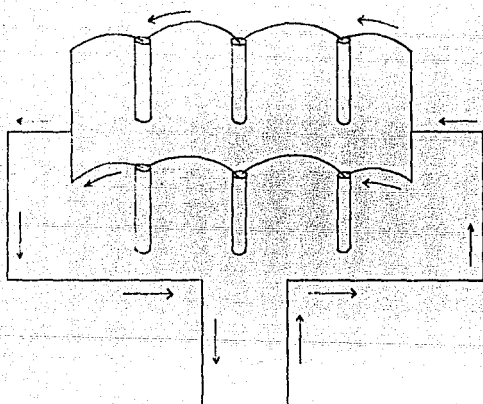


Fig. No. 6-B

Representación Gráfica

FIGS. No. 6 ESTOPINES CONECTADOS EN UN CIRCUITO  
SENCILLO DE SERIES EN PARALELO

#### 4.3 DISEÑO Y ANALISIS DEL CIRCUITO DE LA VOLADURA

Anteriormente se mencionó que las máquinas explosoras por descarga del condensador, son las más apropiadas para efectuar los disparos de los estopines eléctricos por su eficiencia, - seguridad y economía. El inconveniente que tienen estas máquinas es no poder calcular la corriente necesaria que se debe - de aplicar a los estopines eléctricos mediante los principios básicos de las "Leyes de Ohm y de Kirchhoff", ya que la corriente de descarga de una máquina de este tipo decae exponencialmente desde un valor inicialmente alto, hasta cerca de cero en un período corto de tiempo.

Por tal motivo la compañía Dupont que es una de las principales empresas fabricantes de explosivos, en base a su experiencia y al análisis por computadora ha determinado el límite de disparo de sus estopines eléctricos en forma gráfica, - para ayudar así al usuario a diseñar sus circuitos eléctricos. De esta manera, la tabla No. 6 nos muestra gráficamente el número correcto de series que se pueden usar con la máquina explosora CD-600 que es la más usual en el mercado, sin recurrir a cálculos engorrosos que solo nos llevarían a una pérdida de tiempo.

La gráfica esta basada en una resistencia de 2 ohms por estopin, ya sea de retardo o instantáneo y de cualquier longitud en sus alambres de conexión. Para sacar el número equivalente de estos estopines, solo hay que sacar la resistencia - total de los estopines del circuito diseñado y dividirlo entre dos. El número total de estopines de 2 ohms que se necesitan en la voladura, se muestra en la parte inferior de la gráfica y el número de series que se deberán de usar en el cir-

cuito se muestra en el margen izquierdo. El área dentro de las curvas y sobre la línea recta, representa la escala de disparo recomendada la cual no deberá de excederse; mientras que las líneas gruesas representan los límites de disparo recomendados para las resistencias de las líneas de encendido asignadas. Para condiciones normales de voladura, se debe de usar un número de series que esté entre la línea recta y la línea curva, - especificando la resistencia total de la línea de encendido.

Para comprender mejor el manejo de la gráfica de la tabla No. 6 así como el de las tablas No. 4 y 5, se presenta a continuación el siguiente ejemplo.

#### Ejemplo No. 1

Determinar la distribución de un circuito de voladura, la cual consta de 500 estopines de retardo MS con alambre de cobre de 50 pies de largo, los cuales están conectados a la línea de encendido misma que tiene una longitud de 750 pies hasta la máquina explosora. Esta línea es de alambre de cobre sólido calibre 14.

Calcular además la resistencia de una serie y la resistencia al ir conectando cada serie a la línea guía, así como la resistencia de la línea de encendido y de la línea total del circuito.

#### Solución:

- 1.- De la tabla No. 4 se obtiene que el valor de la resistencia de este tipo de estopines de acuerdo a su longitud, es de 2.32 ohms. Por lo tanto, la resistencia total de los estopines del circuito es:

$$Rt_e = 2.32 \text{ ohms/estopin} \times 500 \text{ estopines}$$

$$Rt_e = 1,160 \text{ ohms}$$

2.- Cálculo del número equivalente de estopines de 2 ohms

$$N_e = \frac{1,160}{2} = 580$$

3.- Cálculo de la resistencia de la línea de encendido.

De la tabla No. 5 obtenemos que la resistencia para un alambre de cobre calibre 14 es de 2,525 ohms/1,000 pies, por lo que para una línea de encendido de 750 pies de largo se tendrán 1,500 pies en total, puesto que se trata de dos conductores: uno de ida y otro de regreso. Por lo tanto:

$$R_l = \frac{2,525 \text{ ohms}}{1,000 \text{ pies}} \times 1,500 \text{ pies} = 3.79 \approx 4 \text{ ohms}$$

4.- Determinación del número de series balanceadas.

El número de estopines calculados en el paso dos se localiza en la parte inferior de la gráfica de la - tabla No. 6, para que siguiendo su línea vertical - ascendente hasta que se intersecta con la línea rec- ta inclinada y con la curva de la resistencia total de la línea de 4 ohms (calculada anteriormente en el paso tres), seguir hacia el margen izquierdo desde - dichos puntos de intersección, encontrando de esta - manera los límites inferior y superior de las series balanceadas las cuales estarán dentro de los límites de energía de la máquina explosora.

Los números de series encontradas para este ejemplo son por lo tanto 6 y 18, por lo que la energía ópti- ma necesaria se transmitirá al escoger una distribu- ción de circuitos igual a la mitad de estos límites extremos, o sea:

$$N_s = \frac{6 + 18}{2} = 12$$

5.- Determinación del número de estopines por serie.

$$N_e = \frac{500}{12} = 41.66 \approx 41 \text{ o } 42 \text{ estopines/serie}$$

Por lo tanto, la distribución de los estopines podría hacerse de la siguiente manera: acomodar 42 estopines en 8 series y 41 en 4 series, dando cada serie una -- lectura entre 95 y 98 ohms.

Es conveniente balancear eléctricamente las series lo mejor posible, sin embargo las pequeñas diferencias -- de uno o dos estopines por serie no afectan los resul tados de la voladura. La diferencia en resistencia no deberá de exceder del 10%. Para voladuras normales es costumbre limitar el número de estopines con alambre de cobre, a 50 piezas por serie o sea 120 ohms.

6.- Cálculo de la resistencia por serie.

Para comprender mejor este ejemplo, tomaremos el va- lor de 42 estopines por serie. Por lo tanto:

$$R_s = R_e \times N_e = 2.32 \text{ ohms/estopín} \times 42 \text{ estopines}$$

$$R_s = 97.44 \text{ ohms}$$

Por lo que la resistencia de las 12 series será:

$$R_t = \frac{97.44}{12} = 8.12 \text{ ohms}$$

7.- Determinación de la resistencia al ir conectando cada serie a la línea guía.

Usando la siguiente expresión matemática tenemos:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Resistencia/Serie}}{\text{No. de series}} = \text{ohms}$$

Por lo tanto:

$$\text{Resistencia de una serie} = \frac{97.44}{1} = 97.44$$

$$\text{Resistencia de dos series} = \frac{97.44}{2} = 48.72$$

$$\text{Resistencia de tres series} = \frac{97.44}{3} = 32.48$$

$$\text{Resistencia de cuatro series} = \frac{97.44}{4} = 24.36$$

$$\text{Resistencia de cinco series} = \frac{97.44}{5} = 19.49$$

$$\text{Resistencia de seis series} = \frac{97.44}{6} = 16.24$$

$$\text{Resistencia de siete series} = \frac{97.44}{7} = 13.92$$

$$\text{Resistencia de ocho series} = \frac{97.44}{8} = 12.18$$

•  
•  
•  
•

$$\text{Resistencia de doce series} = \frac{97.44}{12} = 8.12$$

8.- Cálculo de la resistencia total del circuito de la -  
voladura.

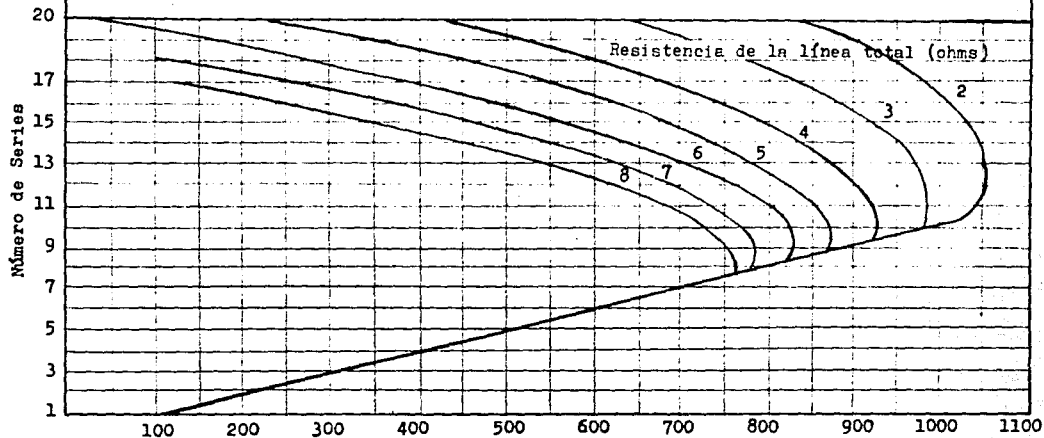
$R_T$  = Resistencia del circuito de estopines + Resig  
tencia de la línea de encendido

Por lo tanto:

$$R_T = 8.12 + 4 = 12.12 \text{ ohms}$$

T A B L A No. 6

LIMITES DE DISPARO RECOMENDADOS PARA LA MAQUINA EXPLOSORA CD-600 DE DUPONT



Número total de estopines electricos de 2 ohms en el circuito de voladura



## 5. CALCULO DE LA CARGA EXPLOSIVA PARA DEMOLICIONES URBANAS

Dado que la resistencia del concreto varía considerablemente, no es posible establecer ciertas normas generales para las voladuras de elementos estructurales hechas con este material. Además hay que tomar en cuenta la forma geométrica de la estructura hecha a base de concreto ya que esto es de gran importancia, puesto que no es lo mismo volar la losa de un puente, que un muro de concreto de 25 cm de espesor; ya que la losa puede requerir una carga específica de 5 a 10  $\text{kg/m}^3$  de explosivo mientras que el muro solamente requerirá de 0.65 a 0.75  $\text{kg/m}^3$  o menos, hablando en ambos casos de un explosivo de potencia media.

Otro de los aspectos que se deben de tomar en consideración y que influye de manera importante sobre las características de la estructura, es la dimensión y cantidad del armado estructural que interviene en el elemento a demoler. Generalmente resulta difícil llevar a cabo una voladura de manera -- que los armados se rompan, por lo que en ocasiones es necesario realizar cortes de los mismos con equipo mecánico o de -- oxicorte después de la voladura.

Una voladura se realiza con la convicción de que la explosión tiende a eliminar el concreto localizado en la periferia de la carga, por lo que los estribos respectivos son cortados por el efecto del explosivo mientras que las varillas -- sufren una dilatación por las altas presiones y temperaturas generadas pero sin llegar a fracturarse, únicamente se debilitan soportando ahora el esfuerzo total de la carga sin la ayuda del concreto y de los estribos, por lo que al flexionarse llegan a la fractura final.

El uso de explosivos en la demolición de edificios en zonas urbanas así como el éxito en el uso de los mismos, está en función de los siguientes factores que se deben de tomar en cuenta y son los siguientes:

- Selección del explosivo adecuado
- Confinamiento correcto
- Dosificación exacta
- Colocación apropiada

Por lo que se refiere a la selección del explosivo, la tabla No. 7 nos proporciona una lista de los explosivos más comúnmente empleados en las demoliciones además de que nos muestra algunas de las propiedades más importantes.

En cuanto al confinamiento, si la carga explosiva no está completamente confinada la resistencia no será igual en toda la periferia del barreno, por lo que la presión de la detonación romperá el punto más débil ocasionando con ello que se pierda parte del efecto destructivo. Se recomienda sellar el barreno una vez cargado, con materiales arcillo-arenosos o arcillo-limosos, o bien con un mortero de fraguado rápido tratando de no dañar al explosivo. El retacado deberá de ser por lo menos de 30 cm si las condiciones lo permiten.

Cuando no es posible o es inconveniente barrenar el elemento estructural, se recomienda atar los explosivos al elemento cubriéndolo con sacos de arena o arcilla logrando con ello un confinamiento del explosivo. El espesor de dicho material se recomienda que sea igual al radio de rotura (R) pero no menor de 30 cm aclarando que el radio de rotura, es la dis-

tancia del explosivo al punto externo más próximo del objeto o elemento estructural a demoler (ver figs. No. 7).

### 5.1 DEMOLICION DE TRABES DE CONCRETO

La fórmula que nos dá un valor aproximado de la carga explosiva necesaria para efectuar la demolición de un elemento estructural de este tipo, es una fórmula empírica desarrollada a través de los años y de la experiencia de técnicos altamente capacitados en esta área,

Es importante señalar que para cualquier trabajo en particular, resulta esencial realizar una voladura experimental también llamada "Prueba de Fragmentación" en un tramo corto de un elemento representativo de la estructura, ya que como se mencionó anteriormente, la resistencia del concreto así como la influencia del armado estructural son factores muy importantes que hay que tomar en cuenta. Una vez observado el resultado de una voladura de este tipo, se estará en condiciones de modificar o dejar igual el espaciamiento que hay entre los barrenos así como el volumen de la carga explosiva inicial calculada.

La fórmula siguiente nos dá el peso en kilogramos de explosivo "TNT", por lo que para obtener su equivalente en el explosivo a emplear, se hace uso de la tabla No. 7 para conocer su eficiencia relativa ( $\eta$ ) y con ello obtener el peso del explosivo que nos interesa. La fórmula es la siguiente:

$$P = \frac{b \cdot h^2}{21,000}$$

Donde: P = Carga en kg de "TNT"

b y h = Dimensiones de la trabe en cm

El confinamiento por su parte, deberá de ser con un peso por lo menos de 1 a 1.5 veces el peso de la trabe, en una longitud igual a la que se necesita para el acomodo del explosivo tratando siempre que sea lo más mínima posible para concentrar el efecto del mismo, además deberá de colocarse la carga explosiva de preferencia cerca de los puntos de apoyo (columnas) - para romper la continuidad de la estructura. En el caso de que no se pueda colocar el peso confinante, la carga explosiva aumentará 1.5 veces.

Para comprender mejor lo anterior, se presenta el siguiente ejemplo:

Ejemplo No. 2

Se requiere demoler una trabe de concreto armado de 30 x 70 cm con un explosivo tipo Hidrogel Tovex-100.

Calcular la cantidad necesaria de este tipo de explosivo así como el peso confinante para lograr el mejor efecto demolidor.

Solución:

1.- Cálculo de la carga de "TNT"

$$P = \frac{30 \times 70^2}{21,000} = 7 \text{ Kg}$$

2.- Cálculo de la carga de TOVEX-100.

De la tabla No. 7 obtenemos que el valor de  $\eta$  para el TOVEX-100, es de 0.44. Por lo tanto:

$$P_c = \frac{7}{0.44} = 15.91 \text{ Kg}$$

3.- Cálculo del peso confinante.

Suponiendo que la carga explosiva calculada la repartimos en 30 cm de longitud de trabe, tenemos que:

$$P_{cf} = 0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 2,400 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_{cf} = 151.20 \text{ Kg}$$

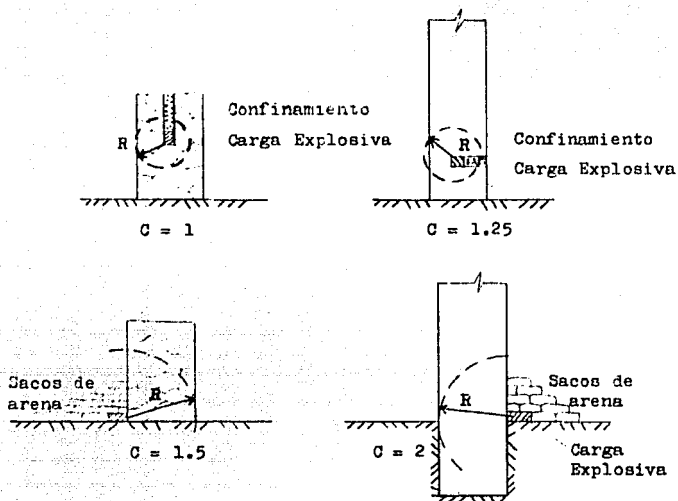
Por lo tanto el peso de la carga confinante tendrá que ser de 150 a 226 Kg sobre la trabe. En el caso de no poderse acomodar este peso sobre el elemento estructural señalado, entonces la carga explosiva - será de:

$$P_c = 15.91 \times 1.5 = 23.87 \text{ Kg}$$

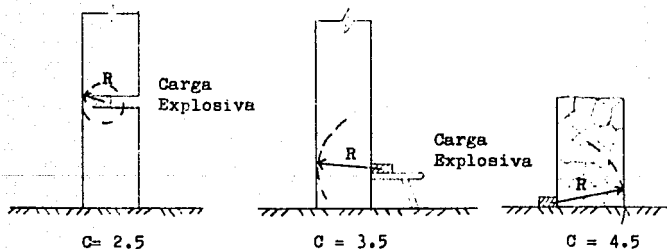
TABLA No. 7

"EXPLOSIVOS MAS USADOS EN LAS DEMOLICIONES"

Explosivo		Fuerza	U s o	Velocidad de Detonación (m/seg)	Factor de fza. Relativa TNT = 1.0	Resistencia al agua
D i n a m i t a s	Dinamita	40%	General	4,600	0.65	Buena < 24 Hrs
	Nitroglicerina	50%	Demolición y			
		60%	Rocas Aisladas			
	Dinamita	40%	Desmontes	2,700	0.41	Fobre
	Amoniacal	50%		3,400	0.46	
	Granulada o Extra	60%		Crateres	3,700	
Dinamita	40%	Zanjas y Demoliciones	2,400	0.42	Buena	
Gelatina	50%		2,700	0.47		
	60%		4,900	0.75		
H i d r o g e l e s	Tovex 100	40%	Demolición	4,050	0.44	Excelente
	Tovex 700	60%	Urbana y	4,800	0.59	
	Tovex P		Rocas	4,800	0.59	
	Tovex Extra		Aisladas	5,500	0.60	
	Godyne	75%		3,900	0.70	
Nitrato de Amonio			Zanjas	3,300	0.42	Mala



Cargas Confinadas



Cargas Sin Confinar

FIGS. No. 7 RADIO DE ROTURA Y FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO EN ELEMENTOS DE CONCRETO Y MAMPOSTERIA

## 5.2 DEMOLICION DE MUROS Y COLUMNAS DE CONCRETO

Para llevar a cabo la demolición de estos elementos estructurales, así como para conocer la cantidad de carga explosiva necesaria en función del explosivo a emplear, se usa la siguiente fórmula:

$$P = \frac{R^3 \cdot K \cdot C}{60,000 \cdot \eta}$$

Donde: P = Carga explosiva en Kg

R = Radio de rotura en cm (figs. No. 7)

K = Factor de dureza del material (tabla No. 8)

C = Factor de amortiguamiento (figs. No. 7)

$\eta$  = Eficiencia relativa del explosivo a usar (tabla No.7)

Sin embargo, aunque la fórmula anterior nos dá una idea más exacta de la cantidad del explosivo a usar, es necesario realizar también una voladura experimental como en el caso anterior usando ahora un factor de carga inicial de 0.15 kg/m<sup>3</sup> para muros de mampostería y de 0.30 a 0.44 kg/m<sup>3</sup> para muros de concreto armado, tomando en cuenta que si los proyectiles constituyen un alto riesgo, este último factor se podrá reducir a 0.15 kg/m<sup>3</sup>.

Por lo que se refiere al número de cargas explosivas colocadas en el muro en función de su longitud a través de una hilera de barrenos o colocados superficialmente, la siguiente fórmula nos dá la solución:

$$N_c = \frac{L}{2R}$$

Donde:  $N_c$  = Número de cargas explosivas

L = Longitud del muro en metros

R = Radio de la rotura en metros



En el caso en que sea necesario emplear dos o más hileras de barrenación, la distribución de éstos se hará formando un "Tres-bolillo" como se observa en la figura No. 8. Se deberá de procurar realizar siempre una buena distribución en la planilla de detonación, para conseguir así una correcta salida -- del escombro, una mejor fragmentación, menores proyecciones y una rezaga más concentrada considerando que además nos ayudará a evitar el exceso de vibraciones y ruido.

TABLA No. 8	
FACTOR DE DUREZA PARA LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION	
M a t e r i a l	K
Mampostería pobre	0.23
Mampostería excelente	0.35
Concreto simple	0.45
Concreto reforzado (sin romper el acero)	0.70

### 5.3 CARGAS PARA CORTAR ACERO (CARGAS DE SUPERFICIE)

Debido a que en una estructura de concreto existen también elementos estructurales de acero como son los perfiles tipo "I" o "U" entre otros, los cuales de alguna manera inciden en el resultado de la demolición ya que pueden representar un obstáculo en la caída libre del edificio por la rigidez que presen-

tan, es necesario romper estos elementos en los puntos de liga que tienen con la estructura, de manera tal que se logre obtener la máxima desrigidización posible para obtener así la dirección de caída deseada.

Para poder efectuar los cortes de estos elementos de acero se tiene la siguiente fórmula empírica, que al igual que las anteriores se ha obtenido a través de la experiencia en estos trabajos. Esta fórmula nos ayuda a obtener de manera aproximada la carga explosiva necesaria para romper cualquier elemento de acero, en función de su área seccional. Cabe mencionar que la carga explosiva calculada es sin confinar, debido a la dificultad de llevar a cabo esta actividad en dichos elementos de acero, por lo que se recomienda realizar el acomodo de los explosivos como se observa en la figura No. 9, para lograr así un mejor resultado en el corte. La fórmula es la siguiente:

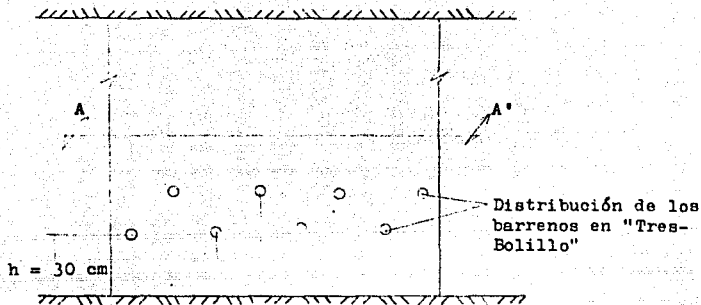
$$P = \frac{A}{36 \cdot \eta}$$

Donde: P = Carga explosiva en Kg

A = Área transversal del elemento en  $\text{cm}^2$

$\eta$  = Factor de eficiencia del explosivo a usar  
(ver tabla No. 7)

La carga explosiva calculada, de preferencia se deberá de colocar en dos partes iguales opuestas una frente a la otra sobre la vigueta y con un desplazamiento de 2 a 3 cm entre ellas, con la finalidad de producir un esfuerzo cortante en el elemento para lograr así un mejor resultado (fig. No. 9).

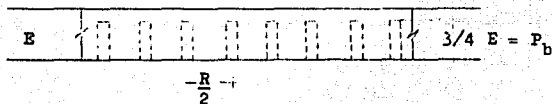


$$- R - \frac{R}{2} -$$

$R = e =$  Espaciamiento entre barrenos

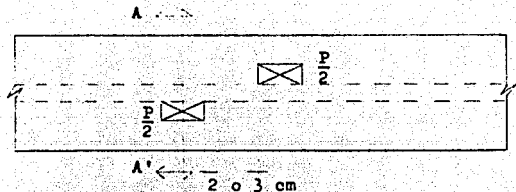
$P_b =$  Profundidad de barrenación

$E =$  Espesor del muro

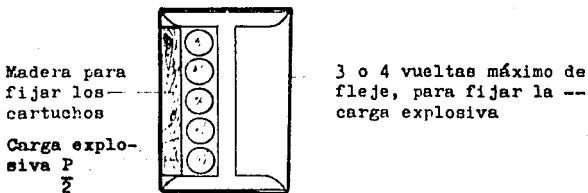


Corte A - A'

FIG. No. 8 DISTRIBUCION DE LOS BARRENOS Y DE LA CARGA EXPLOSIVA, EN MUROS DE CONCRETO



Vista en planta de la vigueta de acero



Corte A - A'

FIG. No. 9 COLOCACION DE LAS CARGAS EXPLOSIVAS EN UN PERFIL ESTRUCTURAL

C A P I T U L O   I I I

" D E M O L I C I O N   D E   E D I F I C I O S ,

        C O N   E X P L O S I V O S "

## 1. PERITAJES Y ESTUDIOS PREVIOS A LAS ESTRUCTURAS

Como consecuencia del mayor sismo sentido en la historia de esta ciudad del cual hemos hecho referencia desde el inicio de esta tesis, muchas edificaciones resultaron seriamente dañadas por lo que hubo la necesidad de realizar peritajes y estudios a sus estructuras, para poder así determinar cuales de estas podrían rescatarse tanto constructiva como económicamente o bien, si la estructura resultaba imposible repararla técnicamente, se procedía a la demolición de la misma.

De los peritajes realizados a las estructuras dañadas, se pudo determinar que los daños más representativos en las edificaciones que se tuvieron que demoler por lo crítico de su estado, fueron los siguientes:

- Deformación de los elementos estructurales (losas, trabes y columnas) fatigados a sus máximos esfuerzos: flexionante, cortante y torsión; por lo que presentan fracturas con exposición del acero de refuerzo.
- Agrietamiento de losas, sobre todo reticulares en la cercanía de sus apoyos.
- Fracturas en muros de concreto y/o mampostería, resaltando los daños en los muros de colindancia y de escaleras, además de los daños en los muros contraventeados y divisorios.
- Daños severos en las instalaciones sanitarias e hidráulicas.
- Daños en acabados y ventanerías en un 80%, destacando los daños en los lambrines, plafones y pisos.

Por lo que se refiere a los estudios que se llevaron a cabo en las edificaciones para determinar cuales tendrían que -- ser demolidas, destacan los siguientes:

- Estudio del movimiento y desplome gradual de la estructura.
- Estudios de mecánica de suelos.
- Ranurado de columnas y losas (calas), para determinar si el armado corresponde al indicado en el proyecto estructu ral.
- Pruebas en el acero de refuerzo de acuerdo a las normas - oficiales: N.O.M. B-6 "Varillas corrugadas y lisas de ace ro de refuerzo, procedentes de lingotes o palanquilla, pa ra el refuerzo del concreto"; y N.O.M. B-294 "Varillas co rrugadas de acero torcidas en frío, procedentes de lingo tes de acero o palanquilla, para el refuerzo del concreto".
- Extracción de corazones de concreto en columnas, de acuer do a la norma oficial N.O.M. C-169 "Obtención y prueba de corazones y vigas extraídas de concreto endurecido" (foto No. 1).
- Ensayes de compresión de acuerdo a la norma oficial N.O.M. C-83 "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto".

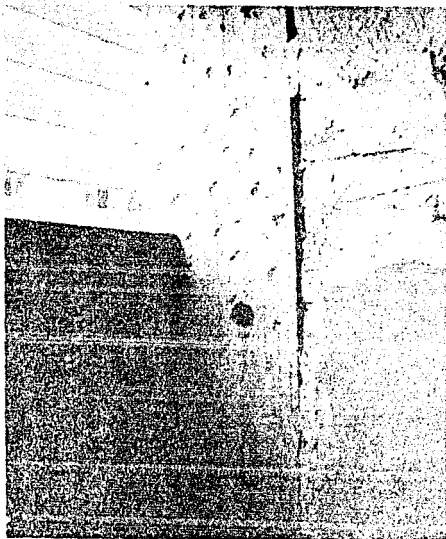


Foto No. 1

#### Extracción de Corazones de Concreto en Columnas

La foto anterior nos muestra el detalle de la extracción de un corazón de concreto, llevada a cabo en la columna localizada en los ejes A-5 del tercer nivel del edificio "Jesús Terán" de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco.



## 2. PRINCIPIOS BASICOS PARA UNA DEMOLICION CON EXPLOSIVOS

La demolición de una edificación dañada se puede realizar ya sea por el método convencional o con explosivos. La elección del método se dá de acuerdo a las características estructurales propias de la edificación así como a su localización urbana, - ya que se deben de tomar en cuenta las instalaciones y servicios adyacentes que pueden resultar afectados por el uso de los explosivos si este fuera el caso, por ejemplo: las redes de agua potable, alcantarillado, telefónicas y de gas entre otras. En el caso de elegir por una demolición convencional, se deberá de tomar en cuenta el riesgo que representa la inestabilidad de la estructura para los trabajadores que realizarán estas actividades, así como al público en general y a las construcciones aledañas.

Resumiendo las ventajas que representa una demolición con explosivos sobre una demolición por métodos convencionales, están las siguientes:

- Mayor seguridad y menor riesgo cuando se trabaja junto a vías de tráfico o lugares densamente poblados.
- Origina perturbaciones solamente durante un tiempo limitado, debido a la rapidez con que se llevan a cabo estos trabajos.
- Disminuye la contaminación ambiental causada por el polvo, ya que este solo se limite a un mínimo de tiempo después de la tronada del edificio, puesto que es reducido - con riegos de agua a presión inmediatamente.
- La voladura puede ser controlada de tal manera que el escombros caiga hacia un lugar preestablecido, de acuerdo a los estudios previos que se realizan para elegir la dirección de caída deseada.

- Permite posteriormente el uso de métodos de desescombro - más fáciles y racionales.
- Por todo lo anterior, es mucho más económico.

En la voladura de edificios existen tres principios básicos fundamentales, los cuales llevándolos a cabo de la manera en que se recomienda es posible alcanzar un éxito seguro en la demolición. Estos principios son los siguientes:

- a) Se deberán de volar primero los elementos vitales de sustentación de la estructura en aquellos puntos vulnerables que provoquen el colapso total de la misma, de tal manera que el peso propio del edificio realice por si mismo la mayor parte del trabajo en conjunción con la fuerza demolidora de los explosivos. Se pretende que al caer el edificio, los demás elementos se fracturen y queden dispuestos de tal manera que sea fácil separarlos, dividiendo las losas en secciones lo más grande posible, limitado esto solo por la capacidad de la grúa y tamaño del equipo de transporte, para que una vez cortados se realicen los acarrees posteriores del escombro.
- b) Las cargas explosivas han de subdividirse y se colocarán de manera estratégica sobre los puntos claves de la estructura, para lograr así una rotura completa.
- c) El encendido se realiza con microrretardos (estopines eléctricos de tiempo), de manera que la colocación de éstos - de acuerdo a los números de sus intervalos de tiempo, proporcionen la dirección de caída y rotura deseada.

Por lo anterior como se comprenderá, cada edificio constituye un caso especial y particular que exige ciertos cálculos completos, así como la adaptación de barrenos y cargas de acuerdo al tipo de estructura y condiciones físicas en que se encuentra esta.

### 3. ACTIVIDADES PRELIMINARES

El demoler un edificio con explosivos dentro de una zona urbana, conlleva a una serie de actividades y preparaciones necesarias para lograr nuestro objetivo de una manera segura y confiable. A continuación se mencionan las actividades preliminares más importantes que implica este trabajo, explicando brevemente en que consiste cada una de ellas.

#### a) Proyecto Preliminar de Demolición

Esta actividad se realiza a partir de un análisis estructural del edificio, desarrollado a partir de la dimensión y disposición de sus elementos estructurales, determinando su comportamiento bajo un análisis tridimensional lo cual permitirá tener una idea más clara de como reaccionará la estructura ante una redistribución de esfuerzos al momento de la explosión.

Así mismo, se estudia el máximo permisible de desrigidización de la estructura, tomando en cuenta las cargas de diseño para poder determinar los elementos no estructurales que se puedan demoler, mismos que podrían afectar la dirección de caída deseada; también se determinan los elementos estructurales más importantes para la estructura los cuales hay que debilitar al máximo posible, ya sea por medio de ranuras o cortes. Inclusive si el análisis estructural lo permite, se procede a la demolición de estos.

En esta actividad se deben de elaborar los planos estructurales del edificio, tanto de sus plantas como de sus - cortes o secciones, señalando los elementos estructurales que son de vital importancia para la estructura como son las columnas y muros de carga, así como también señalando la dimensión de los mismos y si se puede el armazon estructural y resistencia de dichos elementos; todo esto - para poder obtener los parámetros que nos permitan calcular las cargas explosivas necesarias para demoler la estructura.

b) Levantamiento de Instalaciones de Servicio (Obras Inducidas)

Consiste en realizar un registro de todas las instalaciones que existen en la periferia del edificio a demoler, - como son: las líneas de agua potable, drenaje, telefónicas, de gas, energía eléctrica, etc., mismas que pudieran presentar un deterioro al momento de la voladura o bien, que pudieran representar un peligro para la realización de - los trabajos de demolición.

En esta actividad toman parte las dependencias oficiales y privadas que resultan afectadas en sus instalaciones, - para lo cual se hace necesario realizar trabajos de protección a las mismas así como obras de desvío, libramientos y puentes, con la finalidad de que estos servicios no se vean interrumpidos durante el tiempo que duren estos trabajos.

c) Plano de Localización y Estudio de la Proyección de Caída Paralelamente con la actividad anterior, ésta se lleva a cabo realizando un levantamiento de las distancias a los

edificios colindantes al que se va a demoler, tomando en cuenta las características de cada uno como son sus dimensiones y uso destinado, para tomar así las medidas de seguridad que se requieran para cada caso.

Así mismo, se estudian las posibles direcciones de caída que pueda tener la edificación tomando en cuenta las áreas libres disponibles que se encuentran a su alrededor, así como las instalaciones y edificios circunvecinos con importancia social o urbana que pudieran resultar dañados. Para dirigir la dirección de caída como se mencionó en el capítulo II inciso 3.1, la disposición de los estopines de tiempo dentro de la estructura se hará de manera diferente para cada edificio en particular, tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente y ayudados además por el trabajo que efectúan los cables de acero, colocados estos de la manera en que se detalla más adelante en el inciso 4.d.

La figura No. 10 nos muestra un ejemplo del estudio de -- distancias realizado para los trabajos de demolición del módulo sur del edificio "Nuevo León" de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco; así también la figura No. 11 nos muestra la dirección y área de caída para el mismo -- edificio.

d) Diseño de la Plantilla de Retardos

Esta actividad es quizá una de las actividades preliminares de mayor importancia para lograr con éxito y buen resultado, la demolición de una edificación usando explosivos. Como se mencionó anteriormente en éste capítulo (inciso 2.c), uno de los principios o reglas básicas para lo

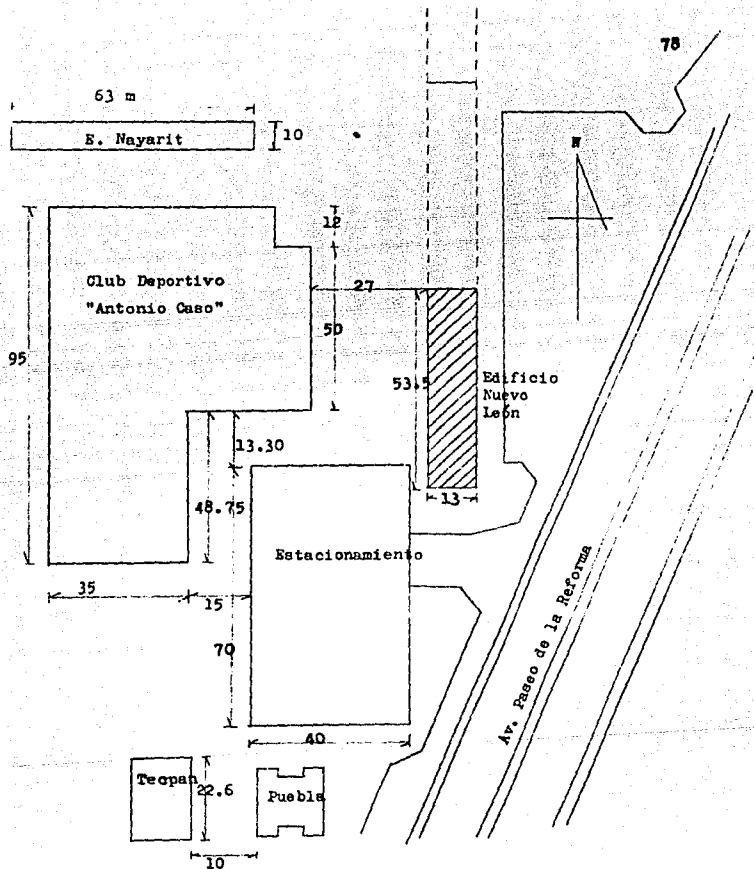


Fig. No. 10 Plano de Localización y Estudio de Distancias Para la Demolición del Edificio Nuevo León

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

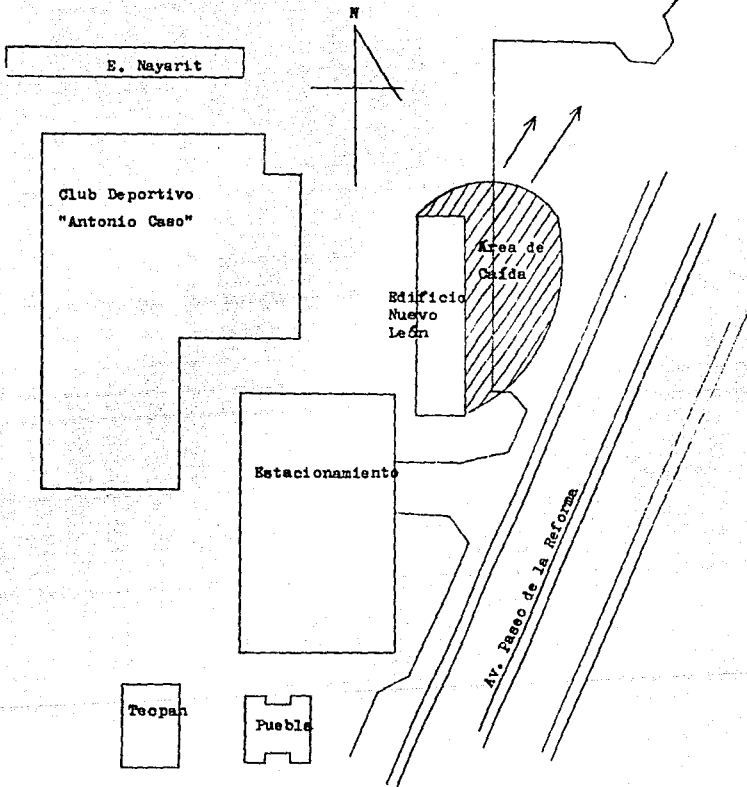


Fig. No. 11

Dirección y Área de Caída del Edificio "Nuevo León"

grar una buena voladura, consiste en colocar adecuadamente los microretardos dentro de la estructura para lograr así la dirección de caída y rotura deseada. Esta actividad como se comprenderá, solo se va logrando de una manera exacta por la experiencia que se va teniendo al ir realizando estos trabajos a través del tiempo, ya que en cada voladura efectuada se observan y analizan los resultados obtenidos, para que de esta manera corregir las posibles fallas habidas en la demolición.

Aunque la demolición de una edificación constituye un caso especial y particular para cada estructura, ya sea por la resistencia de sus elementos estructurales o por sus características arquitectónicas entre otras, a continuación se mencionan de una manera general los fundamentos o reglas que se deben de seguir para llevar a cabo esta actividad.

Es así como por ejemplo, que para lograr que la estructura que se muestra en la figura No. 12 caiga hacia la derecha, se deben de demoler los ejes de columna en el orden 3, 2, 1. Así mismo, para que las losas se fracturen al ir cayendo la estructura como se observa en la figura No. 13, es necesario quitarle sus apoyos a lo largo de uno de sus extremos. Por lo tanto, para lograr el efecto mostrado en las figuras antes mencionadas, el acomodo de los estopines de tiempo puede ser de dos maneras como se observa en las figuras No. 14-A y 14-B.

Como se podrá observar, la última disposición de los microretardos (fig. No. 14-B) nos ahorra un tiempo en los estopines, pero el desplazamiento de la estructura es menor.



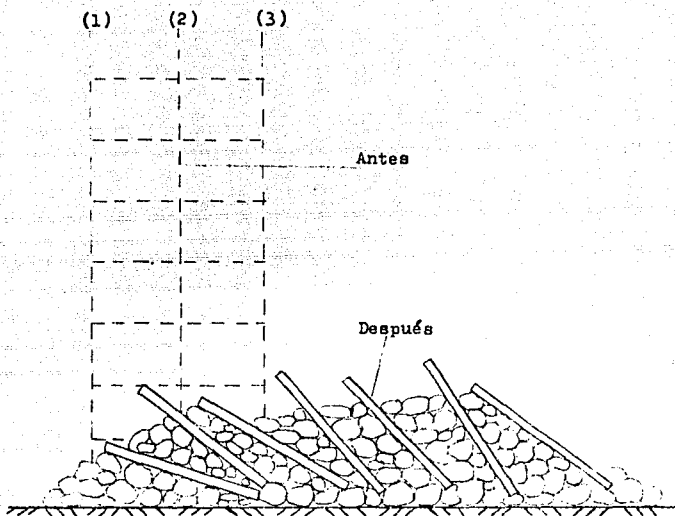


Fig. No. 12 Dirección de Caída de la Estructura

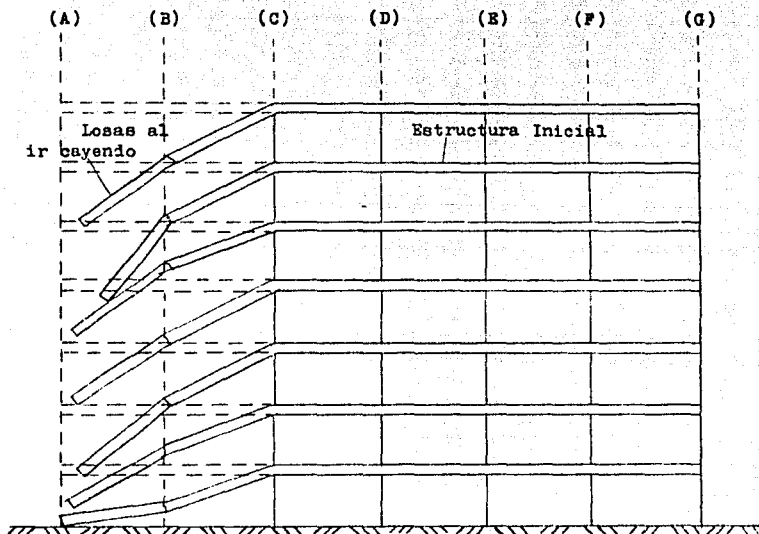


Fig. No. 13 Fracturación de Losas al ir Cayendo la Estructura, al Demolirse Primero las Columnas del Eje (A)

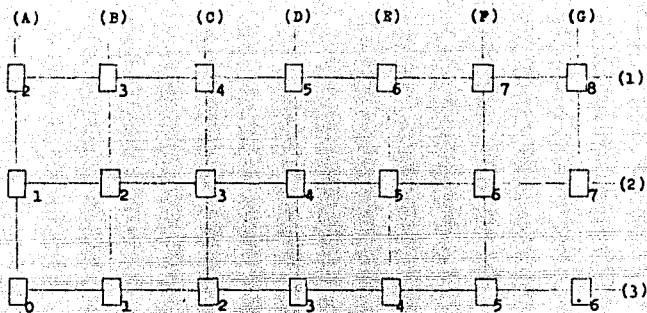


Fig. No. 14-A

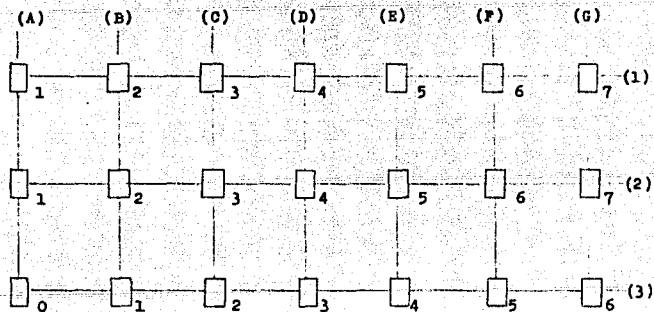


Fig. No. 14-B

Disposición de los Microretardos para Obtener el Efecto Mostrado en las Figuras No. 12 y 13 Respectivamente

Como un ejemplo real de lo antes dispuesto y tomando como base la dirección de caída del módulo sur del edificio - "Nuevo León" (fig. No. 11), se presenta el diagrama de retardos con el cual se obtuvo la dirección de caída mostrada. En este edificio por el estado físico en que se encontraba la estructura, solo se barrenaron la planta baja y el primer nivel, ambos con la misma disposición de los retardos como se observa en la figura No. 15.

e) Delimitación de la Zona de Trabajo

Esta actividad se lleva a cabo con la finalidad tanto de permitir el inicio de las obras, como de brindar seguridad al público que vive en las zonas aledañas.

Se realiza por lo general a base de bardas perimetrales, ya sean de madera de triplay de 3/4" o de lámina pinto para los edificios que estarán sujetos a demolición como se observa en la foto No. 2 o bien, con malla ciclón para los edificios que solo estarán sujetos a trabajos de reestructuración o reparación menor.

f) Desmontaje con Recuperación de Elementos Constructivos

Se refiere al retiro de los elementos que puedan tener posibilidad de recuperación o por el requerimiento propio de los trabajos de demolición o reestructuración del edificio. Esta actividad se lleva a cabo tanto en los departamentos como en las áreas comunes del edificio, así como en la zona adyacente al edificio a demoler.

Dentro de los elementos recuperables están los siguientes: puertas, ventanas, clósets, muebles sanitarios, calentadores, cancelés de aluminio, placas de mármol, barandales de escalera, elevadores, juegos infantiles, casetas telefónicas

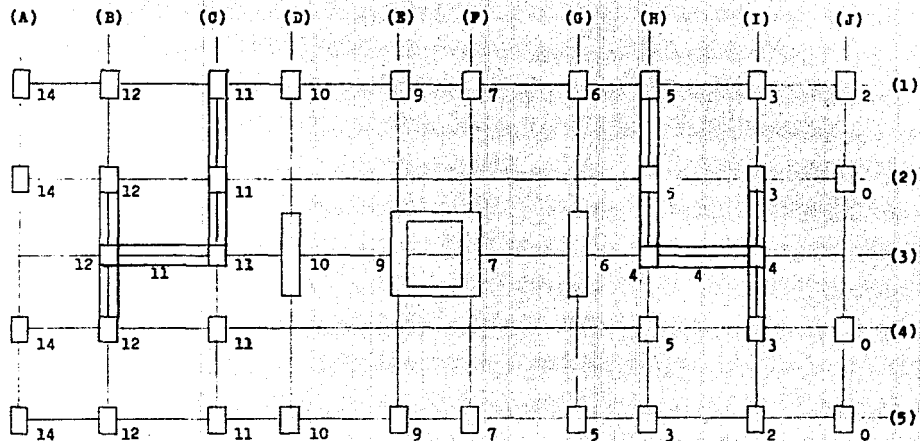


Figura No. 15

Diagrama de Retardos de P.B. y 1er. Nivel del Edificio "Nuevo León"

cas, tapas de registro, postes telefónicos y de luz; así como también las tuberías verticales que bajan por los cubos de luz del edificio, como son las del drenaje, agua y gas.



Foto No. 2

Esta foto muestra parte de la protección perimetral a base de madera de triplay de 3/4" en el edificio "Jesús Terán" de la Unidad Nonoalco-Tlaltelolco.

#### 4. PREPARACIONES NECESARIAS PARA LA VOLADURA

Una vez llevadas a cabo todas las actividades preliminares vistas en el inciso anterior, se deben de realizar a continuación una serie de preparativos en la estructura con el fin de que la voladura de la misma se realice de una manera segura y con éxito. A continuación se hace una breve explicación de cada una de estas actividades, haciendo énfasis y resaltando a las de mayor importancia. Dichos preparativos son los siguientes:

##### a) Instalación Provisional de la Red Eléctrica

Esta actividad tiene por objeto, suministrar de luz eléctrica a las zonas en que realmente sea necesaria para poder llevar a cabo los trabajos de preparación de la estructura. Así mismo debido muchas veces a la urgencia de demoler a la estructura lo antes posible, se llegan a realizar trabajos en turnos nocturnos, lo que obliga forzosamente a suministrar de luz eléctrica a estas áreas de trabajo. Una vez terminados todos los trabajos previos a la voladura, las líneas eléctricas provisionales que se tendieron se retiran completamente del sitio de la misma, ya que --ninguna fuente extraña de energía deberá de permanecer -- en esta zona, para evitar así accidentes graves.

##### b) Demolición Mecánica de Elementos Estructurales

De acuerdo al proyecto preliminar de demolición visto anteriormente en el inciso 3.a de este capítulo, se realiza a continuación la demolición de los elementos estructurales que puedan interferir a un buen desplome de la estructura al momento de la demolición, así como para lograr -- una mejor fragmentación de la estructura misma.

Por esta razón, se procede a la demolición de los muros - exteriores de concreto (ver foto No. 3) además de los muros interiores de mampostería, los de la zona de escalera y los del cubo del elevador; así mismo se ranuran las rampas de escalera al igual que las losas de entrepiso, con el fin de debilitar dichos elementos. Cabe recalcar que el objetivo de una demolición preliminar por métodos convencionales de los elementos estructurales antes descritos, es el desrigidizar a la estructura al máximo permisible - tratando además de ayudar al trabajo de los microretardos de llevar a la estructura hacia la dirección de caída deseada, así como de conseguir la rotura óptima de sus elementos.

c) **Barrenación de Elementos Estructurales**

Una vez definidos los elementos estructurales de mayor importancia en la estructura, como son las columnas de la planta baja por ser estas los elementos primarios de sustentación, se procede a la barrenación de las mismas de acuerdo al proyecto de demolición final. La barrenación - tanto de las columnas como de los muros de concreto, se realiza de acuerdo al tipo de estructura y número de niveles que tenga la edificación tomando en cuenta además el estado físico en que se encuentra.

Como se dijo anteriormente, cada estructura constituye un caso particular por lo que tanto la barrenación como el cargado de los explosivos en los barrenos, en gran parte se determinan por la experiencia que se tenga en este trabajo. Por lo tanto, en este apartado se mencionará como se lleva a cabo la barrenación y que reglas empíricas se deben de tomar en cuenta.



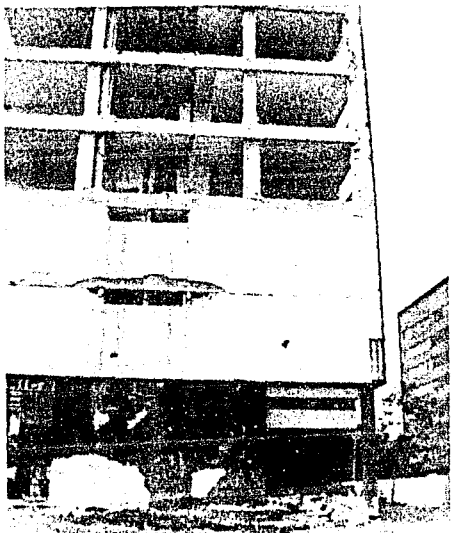


Foto No. 3

Demolición convencional de los muros exteriores de concreto, en la fachada norte del edificio "Jesús Terán" de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco

La barrenación de los elementos estructurales se debe de realizar con una profundidad del 75 al 80% promedio del espesor de la pieza (ver figs. No. 8 y 16), mientras que el número de barrenos por elemento estructural estará en función de la cantidad de la carga explosiva que se colocará en dicho elemento, distribuida de tal manera que se logre el mejor efecto de fragmentación del mismo.

Como regla general, el espaciamiento entre barrenos en los muros de mampostería es de 0.60 a 0.90 m realizados éstos a una altura de 0.30 a 0.50 m sobre el nivel del piso; mientras que para los muros de concreto armado, el espaciamiento recomendado es de 0.50 a 0.70 m requiriendo en algunas ocasiones en función de la resistencia del concreto, realizar varias hileras de barrenación a manera de lograr un acomodo de "Tres-bolillo", también a partir de los 0.30 m sobre el nivel del piso como se observa en la figura No. 8.

Cabe recalcar que es de gran importancia realizar una voladura experimental en un tramo corto de un elemento representativo de la estructura, después de la cual, tanto las cargas como los espaciamientos de los barrenos, serán modificados según sea necesario de acuerdo a la resistencia del concreto y a la influencia del armado en dicho elemento. El espaciamiento varía también en relación al diámetro del barreno, sin embargo los barrenos de diámetro pequeño con espaciamientos cercanos son los que producen los mejores resultados. La barrenación por su parte se efectúa con rotomartillos neumáticos manuales, usando brocas de 1-1/4" a 1-1/2" de diámetro, tanto en muros como en columnas.

En las columnas la barrenación se realiza de manera que el barreno pase por el centroide del elemento, siempre horizontal y en el sentido del lado mayor del mismo o sea en el sentido contrario al de mayor rigidez del edificio (ver fig. No. 16). Esto es como se dijo anteriormente, con la finalidad de romper la rigidez de la estructura al momento de su caída.

Por su parte, la barrenación se realiza también a partir de los 0.30 m sobre el nivel del piso y puesto que las columnas de planta baja son las primeras en tronar por ser éstas los apoyos primarios de sustentación de la estructura, deberán de llevar mayor número de barrenos (de 4 a 6 dependiendo de la dirección de caída que se le quiera dar a la edificación, así como a la resistencia estructural de dicho elemento), que las que se encuentran en los niveles superiores que solo llevan de 2 a 3 barrenos por columna. El número de barrenos por columna está en función de la distribución de las cargas explosivas dentro del edificio y estas a su vez, de la dirección de caída deseada. Es -- así por ejemplo que si se requiere que el edificio caiga hacia dentro de la estructura, las columnas que se encuentran sobre los ejes interiores llevarán mayor número de -- barrenos por llevar más cantidad de explosivo que las que se encuentran sobre los ejes perimetrales, mismas que tronarán una fracción de segundos después. No olvidemos además que la dirección de caída de la edificación, se lleva a cabo mediante los "Estopines de Tiempo" calculandose es tos para cada situación en especial.

Resumiendo entonces, el número total de barrenos en toda la estructura tanto en columnas como en muros, estará en

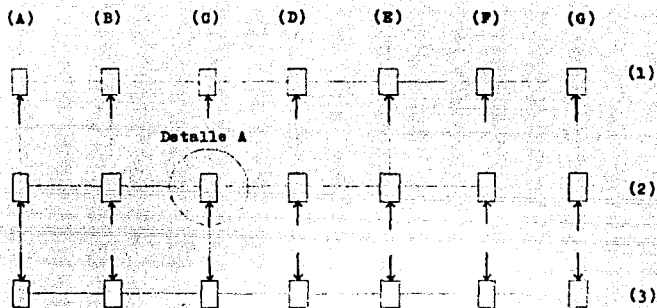
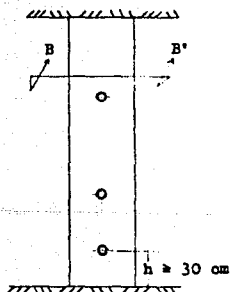
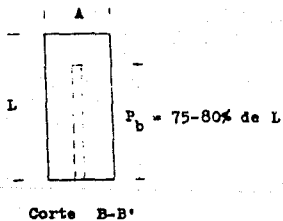


Figura No. 16-A  
Sentido de Barreración en Columnas



Detalle A



Corte B-B'

Figs. No. 16 Detalles de Barreración en Columnas de Concreto

función de la carga explosiva total que se necesita para demoler la estructura y esto a su vez del tipo de edificación, ya que como se comprenderá, la diferencia es -- muy grande al demoler un edificio hecho a base de muros portantes de mampostería que otro a base de muros de concreto, además interviene también la resistencia de los materiales empleados en su construcción, conocida esta a -- través de estudios de laboratorio los cuales se realizan sobre muestras o corazones de concreto extraídos de sus -- elementos estructurales como se dijo anteriormente.

Como un ejemplo de estos trabajos, las fotos No. 4 y 5 nos muestran con detalle las barrenaciones efectuadas en las columnas perimetrales e interiores del edificio "Jesús - Terán" en la Unidad Habitacional Noncalco-Tlaltelolco, el cual fue demolido con esta técnica.

d) Cableado de Columnas

Para ayudar a que la edificación al momento de su caída -- lleve la trayectoria calculada, dada por la disposición -- de los microretardos y de la carga explosiva dentro de la estructura, se colocan cables de acero de 20 mm de diámetro en forma de tensores en aquellos puntos previamente -- determinados, uniendo partes de los elementos estructurales de manera que se logre un "Momento de Volteo" al instante de la explosión, ocasionado esto por la desarticulación del marco original de la estructura; por lo que este efecto se sumará al esfuerzo demoleador del explosivo en -- un instante dado.

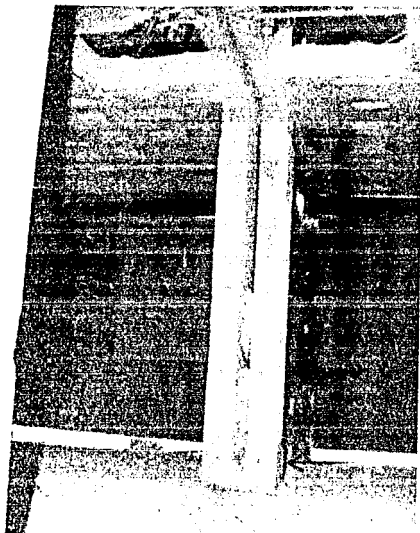


Foto No. 4

Barrenación de columnas perimetrales de planta baja, sobre los ejes A y D del edificio "Jesús Terán" en la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlalotelolco.

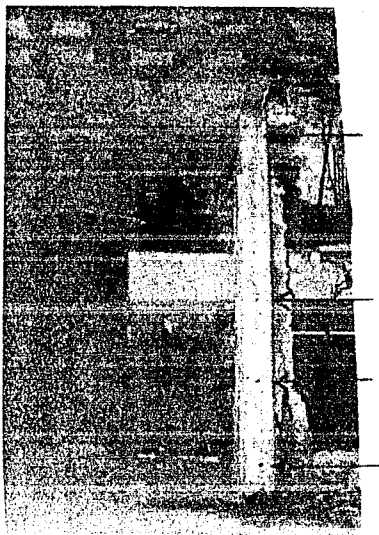


Foto No. 5

Barrenación de columnas interiores en la planta baja sobre los ejes B y C, del edificio "Jesús - Terán" de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlalteolco.

## 5. MEDIDAS DE SEGURIDAD NECESARIAS

Como se comprenderá el usar explosivos dentro de una zona urbana, nos obliga a tomar toda clase de precauciones tanto - en los trabajos de preparación de la estructura, como en los - acarreos de los explosivos así como en la voladura misma. Las actividades más importantes que se deben de llevar a cabo dentro de las medidas de seguridad, son las siguientes:

### a) Forrado de Columnas Barrenadas

Una vez concluidos los trabajos de barrenación en las columnas, se procede a su forrado con el objeto de evitar la proyección de partículas de concreto o alambros los - cuales son impulsados por el efecto de la explosión al - momento de la voladura y que pudieran presentar un peligro en las inmediaciones tanto a las personas como a los edificios colindantes.

Esta actividad se realiza primero, forrando la columna - con una vuelta de lámina calibre 22 o más delgada sujetada con fleje y dejando la entrada de los barrenos libre para su posterior cargado de los explosivos. Posteriormente se forra con dos vueltas de malla ciclón sujetada también con fleje o alambre, como se observa en la foto No.6

### b) Tapiales Forimetales de Protección

En paralelo con la actividad anterior y con la misma finalidad que se menciona, se lleva a cabo la colocación de los tapiales de protección perimetral en los niveles de barrenación, sobre todo en la planta baja y el primer nivel. Estos tapiales o cortinas de protección, de acuerdo a las especificaciones dadas por los técnicos especializados en estos trabajos, se realizan a base de hojas de



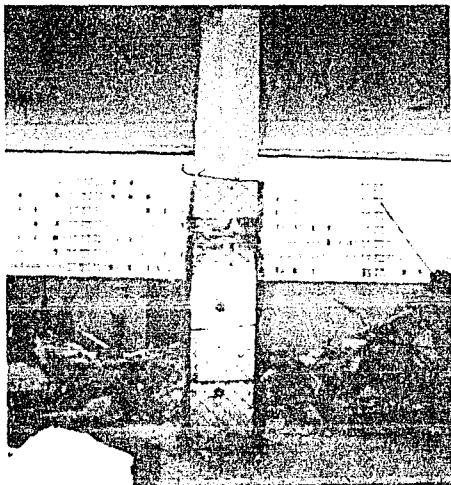


Foto No. 6

Forrado de Columnas Barrenadas

La fotografía anterior nos muestra con detalle el trabajo antes descrito, llevado a cabo en una de las columnas del 5o. nivel sobre el eje B del edificio "Jesús - Terán" de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco.

triplay de 3/4" adosadas al edificio y fijadas con polines de madera de 4" x 4", sobre las cuales se coloca al final una malla ciclón para mayor efecto; todo esto cubriendo la altura del entrepiso como se puede ver en la foto No. 7.



Foto No. 7

Tapial de protección en la planta baja del edificio "Jesús Terán" de la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco.

c) **Protección a Edificios Colindantes y a Instalaciones de Servicio**

Como un complemento de las medidas de seguridad vistas en los incisos anteriores, se deben de proteger también los edificios colindantes para evitar algún daño en ellos.

Esta protección se realiza sobre todo en ventanas, tinacos de agua y tanques de gas estacionarios, cubriendolos con hojas de triplay de 3/4" y con lonas.

Para el caso de las instalaciones de servicio, la protección se logra colocando encima una cuadrícula de polines de madera de 4" x 4" a cada 30 cm y encima de ésta, una hoja de triplay de 3/4" para rematar con cascajo amontonado de manera que funcione como un colehón de amortiguamiento. Por lo que se refiere a los pozos de visita, la protección es básicamente la misma, solo que se añaden unos puntales en el interior del registro también a base de polines de madera de 4" x 4".

Hay que tomar en cuenta que mientras más limitantes externas tenga la edificación que se va a demoler, mayores serán las preparaciones para la protección, por lo tanto los costos también seran más altos. Sin embargo el costo de reparación de algún daño ocasionado por la voladura, no se compara con el costo de una demolición convencional y mucho menos con los inconvenientes sociales y de tiempo que estos generan. Además un alto costo de demolición empleando explosivos no se refleja en una mejor fragmentación, sino en una mayor seguridad y protección de los edificios circunvecinos así como de las instalaciones.

d) Colchones de Amortiguamiento

Esta actividad consiste en apilar el cascajo producto de la demolición preliminar, en los niveles de barrenación del edificio como se observa en las fotos No. 6 y No. 7. Lo anterior es con la finalidad de que los montones de cascajo funcionen como un colchón de amortiguamiento al momento de la caída de la estructura, tratando de esta manera reducir al máximo las vibraciones en el terreno, mismas que pudieran afectar a los edificios circunvecinos. Así mismo evitan también la salida de proyecciones al momento de la explosión, las cuales pudieran ocasionar algún daño en las inmediaciones.

e) Delimitación del Cordón de Seguridad

Finalmente el día señalado para la demolición del edificio, se procede a delimitar el área de seguridad, contando para esto con la ayuda de organismos oficiales como son la Dirección de Policía y Tránsito y de la Defensa Nacional entre otros.

Para este operativo, previamente se les informa a los habitantes de la zona desalojar el área de la voladura el día señalado. Para esto, se reparten con anticipación volantes informativos señalando día y hora en que se llevará a cabo la demolición, indicando también las recomendaciones a seguir. Finalmente se llevan a cabo horas antes, los desvíos viales necesarios alrededor de dicha zona de la voladura, con el objeto de evitar problemas de tráfico o algún accidente mayor.

## 6. ACTIVIDADES FINALES PARA LA DEMOLICION

Finalmente una vez realizados todos los trabajos de preparación de la estructura y llevadas a cabo las medidas de seguridad necesarias para realizar la demolición del edificio - por medio de explosivos, también llamado "Método de Implosión", se procede a efectuar este trabajo a través de las siguientes actividades que a continuación se mencionan.

### a) Pruebas de Carga o Fragmentación

Como se mencionó en el capítulo II incisos 5.1 y 5.2 y de acuerdo a lo dispuesto en ellos, se llevan a cabo las voladuras experimentales también llamadas "Pruebas de Fragmentación o de Carga", tomando en cuenta la resistencia del concreto de un elemento representativo de la estructura. Con el resultado obtenido de estas pruebas, se afinan los cálculos realizados anteriormente para obtener - así la carga explosiva necesaria para demoler finalmente la estructura.

### b) Colocación de las Cargas Explosivas

Una vez conocida la cantidad total de la carga explosiva, se lleva a cabo la colocación de los cartuchos en cada - barreno preparado para tal fin, confinándolo adecuadamente para lograr así el mejor efecto de fragmentación del elemento estructural, conforme a lo visto en el capítulo II inciso 5.

### c) Cebado con Estopines Eléctricos de Retardo

Para asegurar la detonación de las cargas explosivas dentro del barreno, se procede al cebado de las mismas por medio de estopines eléctricos de retardo junto con el -- cordón detonante "Primacord", como se observa en la figura No. 4 antes vista.

d) **Conexión de Circuitos Eléctricos**

Una vez realizada la actividad anterior, se procede a la conexión de los circuitos eléctricos conforme a lo establecido anteriormente en el capítulo II incisos 4.2 y -- 4.3. Posteriormente se evacúa a todo el personal que se encuentra en el área de la voladura para proceder a una verificación final, realizando a continuación el tendido de las líneas de encendido hacia la máquina explosora y dejar de esta manera todo listo para llevar a efecto la demolición final.

Para comprender mejor lo anterior y como un ejemplo real de todo esto, las figuras No. 17 al No. 19 nos muestran el modo en que se realizaron las conexiones de las series en paralelo para el circuito de la voladura del edificio "Nuevo León" en la Unidad Habitacional Nonoelco-Tlaltec--lolco, en sus niveles de barrenación de planta baja y -- primer nivel.

e) **Colocación de Sismógrafos**

En paralelo con la actividad anterior, se lleva a cabo la colocación de sismógrafos del tipo Vibratex con encendido automático, para realizar los estudios de vibración - así como para registrar los movimientos del suelo durante la caída del edificio, además de medir también la velocidad de la onda de choque del viento. Con los datos obtenidos, se realizan inmediatamente los análisis por computadora para estudiar las posibles afectaciones al subsuelo y a las estructuras colindantes.

f) **Disparo de la Implosión (Tronado)**

Finalmente una vez que se llevaron a cabo todas las actividades antes mencionadas, se conectan por fín las líneas

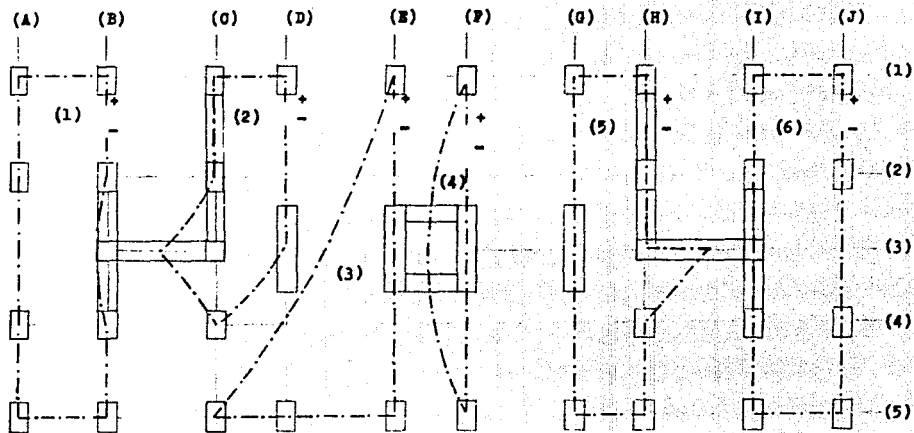


FIG. No. 17 Diagrama de Circuitos Eléctricos en la P.B. del Edificio "Nuevo León"

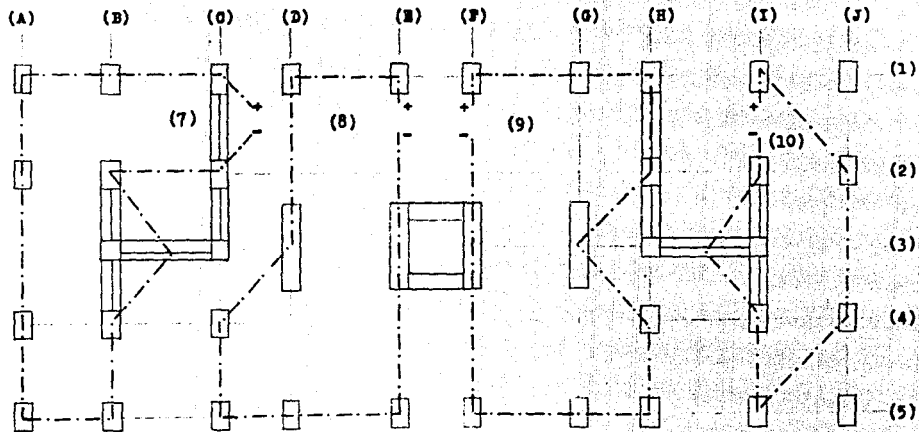
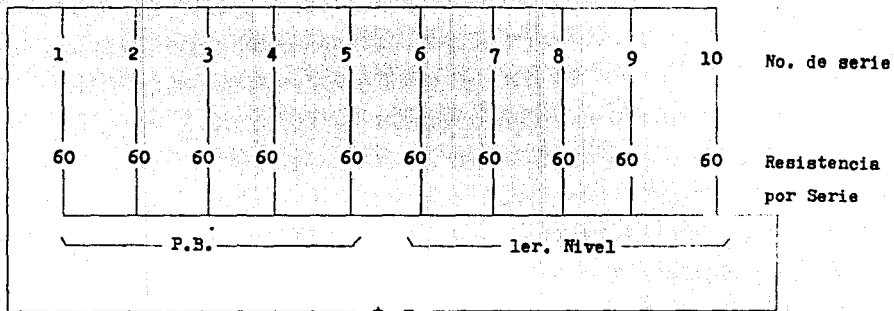


FIG. No. 18

Diagrama de Circuitos Eléctricos del 1er. Nivel  
del Edificio "Nuevo León"





Resistencia Total del Circuito = 6 Ohms

FIG. No. 19 Diagrama de Circuitos de Series en Paralelo,  
Para la Voladura del Edificio "Nuevo León"

de encendido al explosor, el cual estará colocado a una distancia considerable y segura para llevar a cabo el -- tronado de la estructura.

Al igual que en cualquier operativo de voladura, el sonido de las sirenas advierten con el primer pitazo el desalojo total de la zona, el segundo la preparación del sigtema de encendido o detonación y el tercero que es el -- más prolongado se ve apagado por el estruendo de la explosión. Inmediatamente la edificación se va derrumbando paulatinamente hasta quedar solamente reducida en escombros. En las fotos siguientes (No. 8 al No. 10) se muestra la secuencia de la demolición del edificio "Jesús Terrán" en la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco, efectuada el día 26 de julio de 1986 como un ejemplo real de lo antes visto.

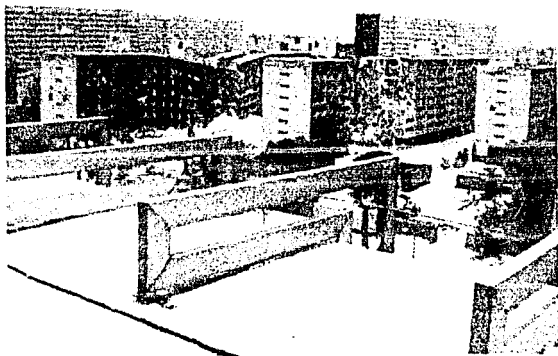


Foto No. 8

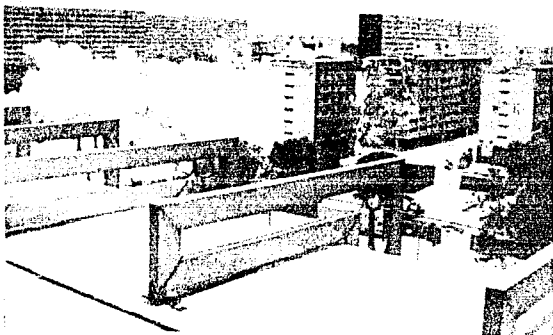


Foto No. 9



Foto No. 10

## 7. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS Y FINALES

Después de haberse demolido la edificación, solo resta - llevar a cabo la remoción y acarreo del material producto de la demolición hasta el sitio de banco o tiro. Para esto previa mente se realizan los cortes y fractura de las losas, traveses y muros, usando para este trabajo equipo mecánico como son las rompedoras neumáticas y los rotomartillo, así como también -- equipo de oxiacorte.

El tamaño de los elementos fracturados estará limitado solo - por la capacidad y tamaño del equipo de carga y acarreo.

Finalmente se realiza el acondicionamiento de áreas verdes en el sitio que ocupaba la edificación o simplemente se - deja limpio el terreno, para la construcción posterior de otro más moderno y funcional que el anterior.

C A P I T U L O   I V

" D E T E R M I N A C I O N   D E L   C O S T O   Y

P R E S U P U E S T O   D E   L A   D E M O L I C I O N "

## 1. FACTORES A CONSIDERAR PARA ELABORAR UN PRESUPUESTO DE LOS TRABAJOS DE DEMOLICION POR MEDIO DE EXPLOSIVOS

Una vez definido el edificio que se va a demoler con explosivos, la dependencia correspondiente lanzará ha convocatoría el concurso para la realización de estos trabajos, por lo que las contratistas interesadas en realizar dicha actividad presentarán su presupuesto para que a través de un concurso de obra se asignen estos. Dicha asignación se dá tomando como base, la experiencia que se tenga en la realización de este tipo de trabajo, así como también considerando sobre todo el menor costo presentado de entre todos ellos.

Para poder elaborar un presupuesto de los trabajos de --demolición, la contratista realizará una visita al edificio a demoler, para poder así observar las características propias del edificio y ver además que dificultades pueden presentarse durante su demolición. Por lo tanto, existen una serie de factores que se deben de considerar para poder desarrollar un --análisis del costo de la demolición, así como también para poder elaborar el proyecto de la demolición misma.

Los factores más importantes que se mencionan a continuación de una manera breve, son los siguientes:

- Determinación del estado físico en que se encuentra la - edificación, así como la disposición y dimensión de los elementos estructurales que la forman, determinando los elementos que se van a tronar a fin de lograr la mejor - fragmentación posible de la estructura.
- Localización urbana del edificio a demoler, observando - las posibles áreas adyacentes disponibles que nos permitan dirigir a cualquiera de ellas la dirección de caída

del edificio, de manera tal que se evite en lo mayor posible el daño a los otros edificios vecinos.

- Localización de las instalaciones de servicio como son las redes de agua potable, sanitarias, telefónicas, de gas, etc., mismas que pueden estar adyacentes al edificio a demoler, lo cual obliga a la protección o desvío de estas.
- Determinación de las protecciones necesarias para los edificios circunvecinos, así como a las instalaciones de servicio antes localizadas, de manera tal que se trate de evitar el menor daño posible a los mismos en el momento de la explosión.

## 2. CATALOGO DE CONCEPTOS PARA LOS TRABAJOS DE DEMOLICION CON EXPLOSIVOS Y COSTO DE LOS MISMOS

Determinados todos los factores que se deben de considerar los cuales de alguna manera inciden en el costo total de la demolición, se estará entonces en condiciones de presentar un presupuesto de obra para la realización de estos trabajos.

A continuación se presenta a manera de ejemplo y para tener una idea más clara de lo que son estas actividades, un "Catálogo de Conceptos de Obra" con el cual se sometieron a concurso las demoliciones por medio de explosivos de los edificios dañados en la Unidad Habitacional Nonoalco-Tlaltelolco de esta ciudad. Los costos de cada precio unitario que conforman el siguiente presupuesto, son aproximados y pertenecen a una contratista ficticia. Dichos precios fueron calculados tomando para sus insumos (materiales, mano de obra, equipo y herramienta) los costos vigentes durante 1986, año en que se

llevaron a cabo la mayoría de estos trabajos, por lo que para tener un costo vigente a 1992, se aplica al final un factor de actualización obtenido a través de los "Indicadores Económicos" que edita el Banco de México; de 1986 a enero de 1992 que fue el último editado hasta la realización de esta tesis.

El catálogo de conceptos está dividido en cuatro partidas o capítulos, siguiendo un orden en la realización de los trabajos conforme a una planeación de los mismos de acuerdo a su ejecución.

#### CATALOGO DE CONCEPTOS DE DEMOLICION CON EXPLOSIVOS

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>I.- PROYECTO</b>				
1. Diseño de Barrenación Presentación de plantas, cortes, isométricos y <u>estructurales</u> que indiquen la ubicación de elementos por barrenar y <u>barrenos</u> por elemento.	Edif.	1	\$4'584,520	\$4'584,520
2. Diseño de Circuitos Presentación de plantas, cortes, isométricos y <u>estructurales</u> que indiquen la ubicación de los circuitos.	Edif.	1	4'580,000	4'580,000
3. Presentación de Plantas que indiquen la dirección de caída del edificio, las				



posibles afectaciones y -  
protecciones a edificios  
colindantes

Edif. 1 \$1'974,320 \$1'974,320

4. Tablas y resúmenes de la cantidad y descripción de explosivos y demás accesorios que se usan para la demolición. Por barreno, por sección, por conjunto. Edif. 1 2'999,840 2'999,840
5. Tablas y resúmenes de la cantidad, tiempo de retardo, descripción y ubicación de los estopines que se usarán en la demolición por barreno, por elemento estructural y por sección. Edif. 1 3'489,000 3'489,000

## II.- TRABAJOS PRELIMINARES

1. Demolición de muros de -- block a cualquier nivel. Incluye: mano de obra, -- equipo y hrmta., carga y acarreo hasta el nivel del terreno y a una distancia de 20 m del parámetro. m<sup>2</sup> 980.56 551 540,289
2. Demolición de concreto armado en muros, losas, columnas y travesaños a cualquier nivel. Incluye: mano de obra, equipo y hrmta., carga y acarreo al nivel del te-

	rreno y a una distancia de 20 m del parámetro.	m <sup>3</sup>	112.20	10,589	1'188,086
3.	Protección adosada al edificio que será demolido con explosivos, consistente en una cortina de protección a base de polín de madera de 4"x4", triplay de 3/4" y malla ciclón.	m <sup>2</sup>	1,829.00	10,802	19'756,858
4.	Alumbrado provisional en el interior del edificio. Lote	Lote	1	2'700,815	2'700,815
5.	Alumbrado provisional en el exterior del edificio. Lote	Lote	1	3'475,000	3'475,000
6.	Cama de arena para protección de las instalaciones subterráneas. Incluye: polines de madera de 4"x4", materiales y mano de obra.	m <sup>2</sup>	260	10,780	2'802,800
7.	Protección a pozos de visita a base de polín de 4"x4" como travesaño en interior y sellado del pozo con triplay de 3/4" y cama de arena como protección de tapa.	Pza	18	27,214	489,852
8.	Bardeado perimetral de madera de 2.40 m a base de polín de 4" x 4" x 10' a cada 2.40 m y hojas de tri				

play de 16 mm.

Incluye: dados de concreto de 20 x 20 x 50 cm, barrotes de madera, torsales de alambre, carga y acarreo - del material producto de - la excavación a pie del ca  
mión, mano de obra y hrmta. ml 260 24,530 6'337,800

### III.- DEMOLICION

1. Barrenación de columnas de diámetro de acuerdo al proyecto. Incluye: mano de obra, compresoras, perforadoras neumáticas, andamios y todo el equipo necesario. ml 480 14,807 7'107,360
2. Sembrado de cargas explosivas mca. Dupont Tovex-100 o simil. en barrenos a cualquier nivel. Incluye: mano de obra y hrmta., indicando el tipo de explosivos y especificaciones. kg 375 15,938 5'976,750
3. Suministro e instalación de estopín eléctrico con tiempo de retardo en milisegundos. Incluye: estopín, alambre -- cal. 18 y 20 para enlaces de circuitos, mano de obra y herramienta. Pza. 672 8,250 5'550,048

4. Suministro y riego de agua a presión para asentar el polvo producto de la tronada. Incluye: mano de obra y equipo necesario.	lt	50,000	3.85	192,500
---	----	--------	------	---------

**IV.- CARGA Y ACARREO DEL MATERIAL  
PRODUCTO DE LA DEMOLICION**

1. Carga por medios mecánicos al camión, del material producto de la demolición. Incluye: mano de obra, equipo y herramienta. Medido en camión.	m <sup>3</sup>	14,483	1,354	19'609,982
2. Acarreo en camión al primer kilómetro.	m <sup>3</sup>	14,483	155	2'244,865
3. Kilómetros subsecuentes (24 km)	m <sup>3</sup> /km	286,333	107	30'637,631
4. Nivelación del terreno. Incluye: mano de obra, equipo y hrmta. Hasta el nivel de banqueta.	m <sup>2</sup>	2,400	373	895,200

Costo Total de este Presupuesto: \$127'133,510

Factor de Actualización a ene.92 x 5.353

Costo Actualizado \$ 680'545,670

C A P I T U L O V

"CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

## 1. RECOMENDACIONES SOBRE ESTRUCTURACION

Basándose en las experiencias obtenidas de los sismos ocurridos en varios países del mundo que al igual que el nuestro se enfrentan a este tipo de fenómeno, así como a las experiencias aquí vividas, un grupo de especialistas en la materia como son los ingenieros, Enrique Del Valle G. y Roberto Meli entre otros, han llevado a cabo una serie de estudios para determinar y dar a conocer las recomendaciones necesarias que se deben de tomar en cuenta para lograr un mejor comportamiento sísmico de las estructuras que se construyan más adelante. A continuación se mencionan estas recomendaciones estructurales indicando brevemente en que consiste cada una de ellas.

### a) Estructuras Ligeras

Se recomienda que la estructura sea ligera, ya que las fuerzas sísmicas son a su vez consecuencia de la inercia de las masas ha desplazarse. Por lo tanto, entre menos pesadas sean las estructuras, también serán los efectos del sismo en las mismas.

### b) Sencillez, Simetría y Regularidad en Planta y Elevación

Es recomendable que la estructura del edificio sea sencilla, para que tanto el modelo matemático como su cálculo estructural sean también más fáciles y más apegados a la realidad. Además al ser simétricas eliminando las plantas en forma de "L", "T", "C" o triangulares tan comunes ahora con la nueva arquitectura moderna, se reducen los efectos de torsión que tanto daño ocasionó a las estructuras en este sismo.

Se recomienda también que la edificación no sea muy alargada ni en su planta ni en su elevación, ya que con esto se reduce la posibilidad de que el movimiento en un extremo del edificio sea diferente al otro, lo que causaría -- efectos de torsión en cuanto a su planta se refiere y -- efectos de volteo por lo que respecta a su elevación. Se recomienda además, evitar los rematamientos en su elevación, ya que los cambios bruscos de masa o de rigidez -- crean amplificaciones dinámicas provocando grandes daños en la estructura.

- c) Uniformidad en las Resistencias, Rigideces y Ductilidad  
Por lo que respecta a estas propiedades, se recomienda -- que estén uniformemente repartidas y no concentradas en -- unos cuantos elementos solamente, o bien con variaciones de las mismas en los claros entre las columnas o en las -- dimensiones de las trabes y de las columnas.

Si por otro lado se planean que existan elementos que fallen antes que otros, se podrá evitar graves daños a la estructura, ya que mientras mayor hiperestaticidad tenga esta, mayor será el número de secciones estructurales que fallen antes que la estructura colapse.

- d) Formación de Articulaciones Plásticas en las Trabes

Es recomendable buscar una estructuración a base de columnas fuertes con vigas débiles, de manera tal que se -- propicie la formación de articulaciones plásticas en estas últimas al excederse su resistencia, ya sea por que se eg té aprovechando la ductilidad del elemento o por que el -- sismo exceda lo previsto en el diseño.

Con lo anterior, se evitará el colapso de la estructura - pues la ductilidad local en las trabes de todos los entrepisos repartirá mejor los efectos del sismo, a diferencia de cuando la ductilidad se concentra solo en las columnas de un solo entrepiso, ocasionando con ello el colapso de la estructura.

Así mismo, el comportamiento dúctil de los elementos sujetos a la flexión pura como son las trabes, es mucho mejor que el de los elementos sujetos a la flexocompresión como es el caso de las columnas.

e) Compatibilidad Dinámica de la Estructura con la del Terreno

Es conveniente buscar que las propiedades dinámicas de la estructura sean congruentes con las propiedades dinámicas del terreno en que se va a desplantar esta. Es así que - por ejemplo, para los terrenos firmes se recomienda que la estructura sea flexible y para los terrenos blandos que sea rígida. Con lo anterior se evita que se produzca el fenómeno de la resonancia, el cual se origina al coincidir el ciclo de oscilación de la estructura con el ciclo de oscilación del terreno.

f) Congruencia entre lo Proyectado y lo Construido

Por último se recomienda, que lo que se contruya sea congruente con lo que se proyecta, ya que por ejemplo los muros de relleno al no desligarse adecuadamente de la estructura, trabajan conjuntamente con ella al momento del sismo, debido a la transmisión de los esfuerzos que la estructura sola debería absorber, lo que ocasiona que los muros sobre todo los de mampostería, tomen una rigidez in



trínseca bastante alta en su plano aunque su resistencia no sea compatible con esa rigidez.

Cuando los muros de relleno colaboran con la estructura, sin haber sido calculados para absorber la fuerza que les corresponde en función de su rigidez, el comportamiento de la estructura será muy distinto al proyectado, ocasionando con ello grandes daños a la edificación. Por lo tanto, estos muros como pueden ayudar a la estructura ha evitar el colapso, como pueden dañarla dependiendo esto, de su continuidad y simetría con que se coloquen dentro del edificio.

## 2. COMENTARIOS FINALES

Mucho es lo que nos pueden enseñar los fenómenos de la naturaleza como en este caso fueron los terremotos ocurridos -- aquí en México en 1985, si sabemos estudiar y analizar cuidadosamente tanto las fallas producidas en los edificios colapsados inducidas por un comportamiento deficiente de la estructura, como de las construcciones que permanecieron en pie como -- una evidencia de una estructura bien diseñada, proyectada y -- construida.

Es también de gran importancia, responder a estas lecciones de la naturaleza mediante una retroalimentación a las instituciones educativas, de investigación y de práctica profesional en el diseño, la construcción y la supervisión, a través de acciones efectivas y de disposiciones legales que repercutan finalmente en edificaciones más seguras, más funcionales y más económicas.

Ojalá que estas lecciones no sean olvidadas en el futuro, sobre todo por aquellas personas que de alguna manera se dedi-

can al área de la construcción en edificación, para que en los futuros terremotos no se tengan las mismas vivencias tan amargas como en esta ocasión, a pesar de la reacción de unos cuantos que tratan de bloquear estos recuerdos para ocultar las fallas humanas.

Cabe mencionar que uno de los obstáculos para lograr edificaciones más seguras, es la equivocada impresión que se tiene de que resulta excesivamente más caro construir este tipo de edificaciones, tanto por los incrementos en el costo de su estructura como por el diseño mismo. Lo anterior se puede ejemplificar en los resultados obtenidos de estudios económicos hechos por especialistas en la materia, donde el costo de varios edificios tiene como componente los siguientes indicadores:

- Costo del Terreno ..... 7%
- Costo del Proyecto, Permisos y Licencias..... 13%
- Costo de la Estructura y de la Cimentación ..... 25%
- Costo de los Acabados (pisos, plafones, etc.) ... 35%
- Costo de Instalaciones y Equipo Electromecánico.. 20%

Por lo tanto, de lo anterior se desprende que un incremento del 50% en los costos de la estructura y el diseño, darían un incremento del 12.5% y 6.5% respectivamente al total.

Además al emplearse ahora el concreto estipulado en el nuevo reglamento de construcción definido como clase "I", existirá un aumento del 30% por m<sup>3</sup> de concreto, mismo que vendrá a representar la tercera parte del valor de la estructura, ya que la otra recaerá en el valor del acero de refuerzo y la restante en el costo de la cimbra, mano de obra, equipo, etc., lo que implica finalmente un costo adicional del 3% solamente del cog

to del edificio, obteniéndose por lo tanto una construcción mucho más segura y más confiable.

Por lo tanto, conviene ahorrar mejor en elementos de ornato tan comunes ahora con la nueva arquitectura moderna, a cambio de construir edificaciones más seguras que es lo que todo mundo desea.

Por último, el construir edificios más seguros y mejor estructurados para resistir el efecto de los sismos, nos evitara usar explosivos para demoler aquellas edificaciones que ante - futuros terremotos queden seriamente dañados, deseando unica-- mente que el uso de estos sea unica y exclusivamente para la - demolición de edificios obsoletos y viejos, construyendo en su lugar edificaciones más seguras y más funcionales, acorde a las necesidades que tendra la población en el futuro.

## B I B L I O G R A F I A

1. Fundamentos de Geología Física.- Leet y Judson
2. Experiencias Derivadas de los Sismos de Septiembre de 1985.- Fundación I.C.A., A.C.
3. Manual Para el Uso de los Explosivos.- Dupont
4. Los Explosivos en la Construcción.- Ing. Federico Alcaraz Lozano. Fundación para la Enseñanza de la Construcción A.C.
5. Técnica Sueca de Voladuras.- Rune Gustafsson
6. Los Explosivos y sus Aplicaciones.- Francisco Aguilar Bartolome
7. Efecto de los Sismos de Septiembre de 1985 en la Ciudad de México. Fascículo No. 6 del Atlas de la Ciudad de México
8. Observaciones Derivadas de los Sismos de 1985.- Dr. José A. Nieto y M. en I. José Luis Trigos. (Revista Construcción y Tecnología edición del mes de agosto de 1989)
9. Modificaciones de Emergencia al Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (Diario Oficial del día 18 de octubre de 1985)
10. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (Diario Oficial del día 3 de julio de 1987)
11. Indicadores Económicos del Banco de México.- edición del mes de febrero de 1992