

77  
28.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



## DEMOLICION DE EDIFICIOS CON EL METODO DE EXPLOSIVOS

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

**GUILLERMO HERNANDEZ ZEPEDA**  
**ENRIQUE BAKER DIAZ**

MEXICO, D. F.

1987



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

	PAG.
CAPITULO I.- ANTECEDENTES.	3
I.1.- Sismología	3
I.2.- Los sismos de Septiembre de 1985 en la Cd. de México.	17
CAPITULO II.- LOS EXPLOSIVOS Y SU USO.	34
II.1.- Antecedentes	34
II.2.- Tipos de explosivos	45
II.3.- Dispositivos de iniciación	55
II.4.- Métodos y técnicas de voladuras	62
II.5.- Equipo y accesorios en voladuras	78
II.6.- Seguridad en voladuras	85
CAPITULO III.- EDIFICIOS DEMOLIDOS CON EXPLOSIVOS	92
III.1.- Organización y planeación de los trabajos en una demolición.	92
III.2.- Aspectos técnicos	99
CAPITULO IV.- PREPARACIONES.	108
IV.1.- Barrenación, cableado, cortes y demoliciones menores.	108
IV.2.- Protección	123
IV.3.- Colindancias e instalaciones cercanas.	130

CAPITULO	V.-	DEMOLICION CON EL SISTEMA DE DISPARO ELECTRICO.	134
	V.1.-	Manejo de retardos.	134
	V.2.-	Dosificación	144
	V.3.-	Resultados.	155
CAPITULO	VI.-	EJEMPLOS DE PROYECTOS DE DEMOLICION.	156
	VI.1.-	Edificio en Durango No. 138. Col. Roma	156
	VI.2.-	Edificio en Eje Central No. 28	174
	VI.3.-	Edificio en Monterrey No. 158. Col. Roma	194
	VI.4.-	Programa Operativo.	219
CONCLUSIONES			227
BIBLIOGRAFIA.			230

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

Se exponen en este trabajo los conceptos técnicos que intervienen en la demolición de edificios, utilizando el método de explosivos.

La demolición de edificios en zonas urbanas, utilizando explosivos, es una técnica que se ha aplicado en otros países desde hace varias décadas, siendo Estados Unidos el país pionero en este procedimiento. Actualmente existen varias compañías en el mundo que se dedican a esta actividad.

En la ciudad de México, debido a los daños causados por el sismo del 19 de Septiembre de 1985, hubo necesidad de aplicar este método. Es importante recalcar que en este escrito se describe la demolición de edificios seriamente afectados por dicho temblor, pero puede utilizarse tanto para estructuras dañadas como no dañadas.

Se asignó a las autoridades del Departamento del Distrito Federal la responsabilidad de la demolición con explosivos, recayendo específicamente la aplicación y el seguimiento de este procedimiento en la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR).

En las demoliciones que se han realizado, hasta la fecha han participado diversas compañías constructoras mexicanas con la asesoría de técnicos norteamericanos, inicialmente y mexicanos. Para ésto, han colaborado las diversas dependencias de gobierno, que por sus funciones, deben participar en el proceso de las demoliciones.

Los resultados obtenidos hasta la fecha han sido bastante satisfactorios. --

Cumpléndose, en el renglón de las demoliciones, con una parte importante en el proceso de reconstrucción de la ciudad de México.

En el capítulo primero se resumen los aspectos generales sobre sismología y -- se presentan las características, su origen y los movimientos del suelo registrados en la Cd. de México, del temblor del 19 de Septiembre de 1985, además se comparan dichas características con las de otros movimientos fuertes -- ocurridos anteriormente y se presentan los efectos del sismo en las construcciones.

El capítulo segundo describe los principios fundamentales para el uso adecuado de los explosivos, los métodos y técnicas de voladuras, así como el equipo y -- accesorios necesarios para obtener resultados óptimos tanto para aplicaciones de campo como para demolición de edificios en zonas urbanas.

La organización y planeación de los trabajos en la demolición con explosivos -- de un edificio y los aspectos técnicos que deben de considerarse, se presentan con claridad en el capítulo tercero.

En el capítulo cuarto se describen todos y cada uno de los preparativos que de -- ben de realizarse dentro y fuera del edificio por demoler.

El capítulo quinto describe el método de demolición de edificios con el sistema de disparo eléctrico, el cual es el que se ha utilizado para realizar las -- demoliciones hasta hoy practicadas en la ciudad.

En el capítulo sexto se presentan tres ejemplos de edificios ya demolidos, mediante el método de explosivos con todos y cada uno de los preparativos que -- fueron necesarios para aplicar adecuadamente la técnica de demolición; además se detalla el plan operativo que se siguió para realizar éstas.

Finalmente se presentan algunas conclusiones y bibliografía complementaria sobre este tema.

## C A P I T U L O I

### ANTECEDENTES

#### (DEMOLICION DE EDIFICIOS CON EL METODO DE EXPLOSIVOS)

##### I.1.- SISMOLOGIA.

##### I.1.1.- Naturaleza de los temblores.

La mayor parte de los riesgos naturales pueden ser detectados antes de que su poder destructor ocurra. Los sismos (del griego seismo = sismo, temblor o terremoto) por el contrario no tiene precursores conocidos. Atacan sin previo aviso y, en eso radica su poder destructor. Aunque los temblores son considerados generalmente la fuerza más destructiva de la naturaleza, en realidad -- las pérdidas económicas por inundaciones y huracanes son mayores. Sin embargo, la casi total devastación instantánea que origina un sismo importante, -- tiene un impacto psicológico único.

Los riesgos impuestos por sismos son únicos en muchos aspectos y, consecuentemente, la adecuada planeación conducente a reducir los riesgos de sismos requieren de un enfoque especial desde el punto de vista de la ingeniería. Una característica importante del fenómeno sísmico es que el riesgo a la vida está asociado casi completamente con estructuras construidas por el hombre.

La acción de un sismo en una estructura no reviste aspectos netamente distintos de los de la mayoría de las otras acciones. Las diferencias no residen -- tanto en las características dinámicas de la acción, cuanto en que sus efectos dependen de una interacción compleja entre el movimiento sísmico, las pro

propiedades del suelo subyacente y las de la estructura misma.

El aspecto del riesgo sísmico puede ser abordado solamente por el diseño y la construcción de estructuras sismoresistentes, por lo que un adecuado programa de predicción sísmica debe incluir el correspondiente a una ingeniería sísmica efectiva.

Además, con la apropiada aplicación de los conocimientos de ingeniería sísmica, puede ser evitado el colapso de estructuras y el consecuente riesgo a la vida humana; por lo cual el ingeniero estructurista debe de enfrentar el reto de lograr un diseño económico que sea susceptible al daño sísmico, pero al mismo tiempo no llegue al colapso total, aún ante el sismo más intenso posible.

El carácter accidental de la acción sísmica, junto con el elevado costo que implica hacer que, ante un sismo de gran intensidad, la respuesta de una estructura se mantenga dentro de niveles de comportamiento que no impliquen daño alguno, hacen que se trate de aprovechar el trabajo de la estructura, para deformaciones que sobrepasan el intervalo elástico; por ello, las propiedades inelásticas de los materiales y elementos estructurales y, en particular la ductilidad, adquieren una importancia fundamental en el diseño sísmico, a grandes rasgos el diseño sísmico implica:

- a).- Evaluación del riesgo sísmico o sismo de diseño.
- b).- La estructuración.
- c).- Predicción del comportamiento mecánico del sistema suelo-cimentación-estructura, por medio de modelos matemáticos y definición de estados límite de servicio, de daños y de colapso.
- d).- Revisión del diseño y el diseño final con detalles estructurales y no estructurales para que haya congruencias entre el proyecto y la construcción.
- f).- Construcción y mantenimiento del edificio durante su vida de servicio.

La elección de un nivel aceptable de riesgos sísmicos es un problema complejo que comprende la consideración tanto de las consecuencias de daño sísmico, sociales y financieras, como la del grado probable de riesgo físico, es decir, la sismicidad propia de la región.

Se conoce más acerca de los efectos producidos por un temblor, que las causas que los producen. En algunas civilizaciones antiguas los temblores eran explicados a través de mitos; en algunas se pensaba que la tierra estaba colocada sobre un animal gigante, o dios que, periódicamente, se movía originando el sacudimiento de su carga. Por otro lado, Aristóteles, el famoso filósofo griego, pensó que los temblores eran provocados por poderosos vientos atrapados en cavidades subterráneas. Para los aztecas los temblores no eran desconocidos, inclusive, a juzgar por los códices, conocían implícitamente la existencia de dos tipos de temblores: los volcánicos y los tectónicos.

Nuestro conocimiento de la causa de los temblores, data de mediados del siglo XVIII, cuando se observó que los mayores daños producidos por los sismos se reducían a zonas muy estrechas, sugiriendo que la fuente de los temblores era restringida.

Fue Harry F. Reid quien propuso que los temblores eran producidos por deslizamientos a lo largo de fallas, basado en estudios del temblor de San Francisco de 1906. La Teoría del Rebote Elástico propuesta por Reid, establece que las rocas son elásticas y susceptibles de almacenar energía mecánica, de la misma manera que lo hace un resorte comprimido. Así cuando los esfuerzos que actúan sobre los lados opuestos de una falla sobrepasan la fuerza de fricción que los mantiene unidos, sobreviene una liberación repentina y violenta de la energía almacenada en la roca, en forma de ondas sísmicas y calor generado por fricción. Las ondas sísmicas irradiadas en todas direcciones provocan el temblor.

Como ya se mencionó, los temblores pueden tener entre otros, origen tectónico o volcánico.

Las erupciones volcánicas pueden producir temblores; sin embargo, la energía liberada es menor que en el caso de las de origen tectónico. En México, son raros los temblores de origen volcánico.

La teoría tectónica de las placas. Es una teoría con reglas geométricas y cinemáticas rigurosas, explica convincente y racionalmente el origen de los terremotos, los volcanes y montañas.

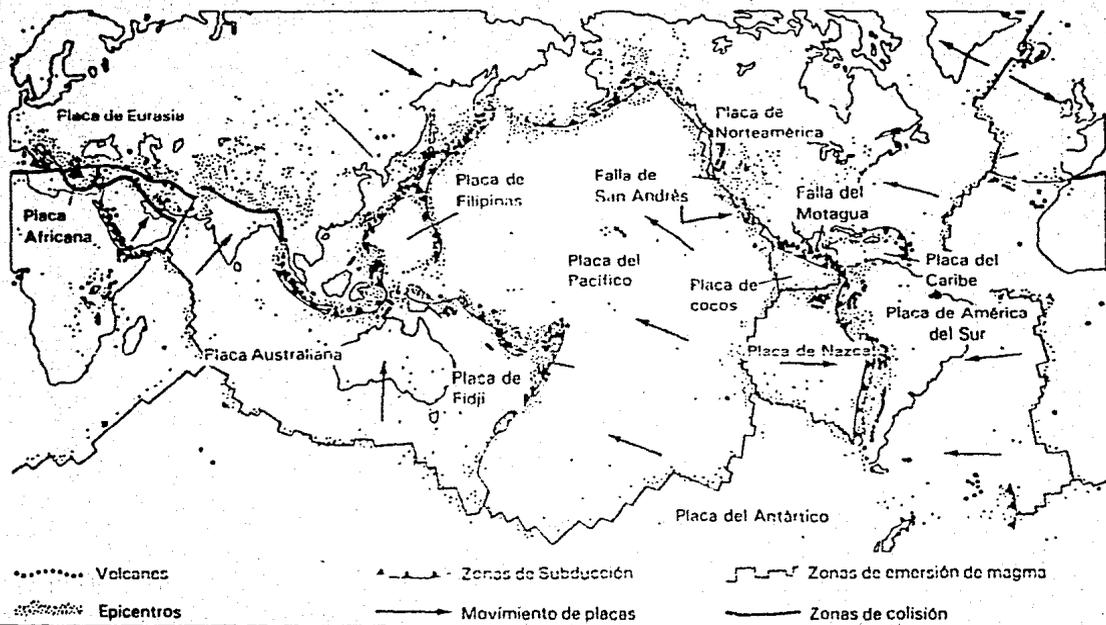
La idea de que los temblores son producidos por desplazamientos a lo largo de fallas es congruente con la teoría de tectónica de placas. La envoltura externa rígida de la tierra, la litosfera con un espesor de alrededor de 80 Km, está fragmentada en términos de un cierto número de sectores esféricos o placas. Existen seis placas gigantes que, tomadas en conjunto, representan la mayor parte de la superficie terrestre y otras seis o más adicionales de tamaño regional. (Fig. I.1).

Estas placas están todas en movimiento relativo, tanto las unas con respecto a las otras como en relación con una capa subyacente más caliente y más suave, que es la astenósfera que esta ubicada a una profundidad de entre 50 y -- 400 Kms.; es sólida pero deformable. Los bloques de corteza tanto oceánica -- como continental, se mueven como pasajeros pasivos que cabalgan en las cimas de las placas de litósfera.

Las uniones entre las placas están delineadas por las fajas sísmicas activas de todo el globo, que sirve para indicar dónde se concentran los movimientos que se dan entre ellas. Individualmente las placas se comportan como casquetes esféricos intactos, y cualquier deformación interna que se presente en -- ellas ocurre con tasas de deformación varios órdenes de magnitud por debajo -- de aquellas representadas por los movimientos relativos que se observan en -- las uniones de las placas.

Su rigidez es menos perfecta en las cercanías de algunas uniones, y los bordes de algunas placas son afectados por amplias bandas de deformación marginal. Un comportamiento similar conduce al desarrollo de un cierto número de placas menores, distribuidas a lo largo de la unión de una placa mayor, dando lugar a movimientos y comportamientos internos más complejos que aquellos implicados por el modelo ideal de las placas.

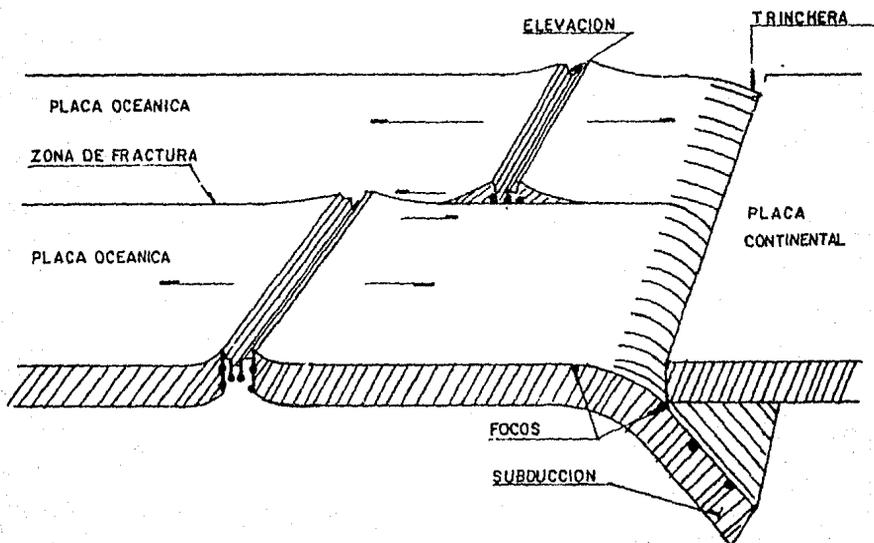
Aunque algunos grandes terremotos ocurren en el interior de las placas, y en particular en los continentes, su ocurrencia es dispersa e infrecuente y no pueden ser ordenados de modo que conformen márgenes de placas coherentes. Los límites de las placas no son márgenes de continentes y una sola placa puede contener porciones de continentes y porciones de océanos.



**Figura 1.1.** Mapa que muestra la relación entre las principales placas tectónicas y la localización de los epicentros de terremotos y de los volcanes.

Los márgenes de las placas pueden ser de tres tipos (Fig. I.2):

- a).- De acrecimiento. Cordilleras oceánicas, en las cuales las placas se es tán separando y aumentan de tamaño por la adición de corteza y de manto nuevos a lo largo de sus bordes anteriores.
- b).- De consumo (zonas de Subducción). Una de las placas es "tragada" por hundimiento en el manto por debajo del borde anterior de la otra placa.
- c).- De transformación. Dos placas se deslizan, una al lado de la otra y -- las áreas superficiales son conservadas. \_



**FIG. I.2 MOVIMIENTO DE PLACAS Y GENERACION DE SISMOS**

Los estudios sobre los movimientos sísmicos indican la presencia de tensión a lo largo de las cordilleras; de movimientos de impacto y de deslizamiento a lo largo de fallas transformadas, y de compresión a lo largo de las márgenes de las placas que están siendo consumidas.

Los márgenes de las placas de acrecimiento y de transformación están caracterizados por terremotos superficiales. La mayor parte de los terremotos son a poca profundidad y ocurren en una área relativamente limpia, lo que sugiere la presencia de deformaciones por compresión en una zona muy amplia.

El corrimiento en la zona de contacto entre dos placas no ocurre de manera -- continua y suave; la fricción entre las rocas hace que se puedan generar en la superficie de contacto entre las placas, esfuerzos considerables, hasta que se vence la resistencia mecánica en dicha superficie, provocando un deslizamiento brusco y la liberación súbita de una gran cantidad de energía. Este deslizamiento ocurre en cierta longitud a lo largo de la falla. Mientras mayor es la longitud afectada por el movimiento, mayor será la cantidad de energía liberada. La energía liberada produce ondas en la corteza terrestre, las que se transmiten a grandes distancias y provocan la vibración de la superficie del suelo.

Como ya se señaló el deslizamiento entre las placas que generan los sismos no ocurre a intervalos definidos y constantes; según las características de la superficie de contacto en una zona particular, puede ocurrir un corrimiento -- en breve tiempo después de un sismo previo o, por el contrario, en esa zona -- pueden acumularse grandes cantidades de energía y pueden pasar varias décadas antes de que se produzca un nuevo corrimiento. En general, en el primer caso se tratará de un sismo de poca magnitud y en el segundo de uno muy severo.

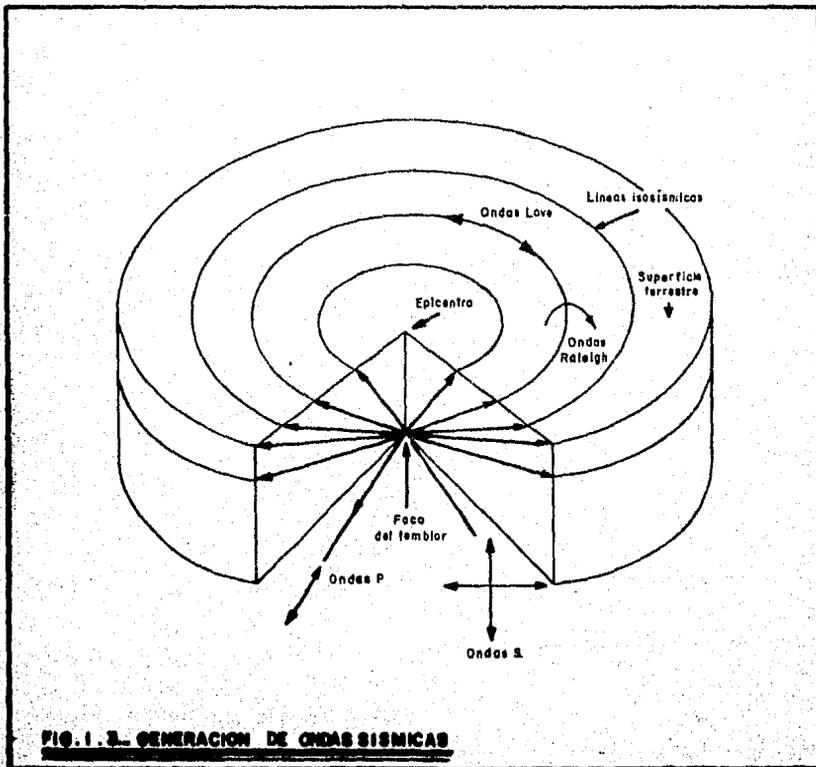
Según esta teoría a esto se debe que los sismos ocurran en zonas específicas, delineando franjas muy estrechas; así, la colisión de las placas Africana y -- Europea generan los temblores del Norte de Italia, Este del Mediterráneo e -- Irán. La interacción de la placa de Cocos y Americana es responsable de los temblores de la costa Sud-Occidental de México. Similantemente puede explicar-- se la actividad sísmica de Japón, California, Alaska y otras regiones.

Un sismo no consiste en la liberación de energía en un punto determinado, sino más bien a lo largo de una falla en una zona más o menos extensa, la brusca caída de esfuerzos que acompaña el deslizamiento de las placas genera on-- das sísmicas. El punto o zona donde se origina el sismo recibe el nombre de

foco y el punto sobre la superficie terrestre directamente encima del foco se designa por epicentro.

El movimiento producido por un temblor origina ondas de cuerpo y ondas de superficie. Las ondas de cuerpo pueden ser a su vez longitudinales y transversales. Las ondas longitudinales, también designadas como ondas "P" (primarias) son las más rápidas y tienen frecuencias más altas y amplitudes menores que las ondas transversales o de cortante designadas como "S" (secundarias).

Debido a las distintas capas del subsuelo, tanto las ondas P, como las S, se reflejan o refractan produciendo a su vez ondas superficiales (Raleigh y Love) que tienen velocidades menores que las dos anteriores. De esta manera, cerca de la falla, los tres tipos de ondas están superpuestos, pero a distancias grandes de la falla se distinguen los tres trenes de ondas porque llegan en tiempos diferentes. (Fig. I.3.).



Una partícula que se encuentre en el camino de una onda transversal, puede -- oscilar en cualquier dirección en el plano normal al avance de la onda, aun-- que son más lentas que las ondas P, pueden transmitir más energía, por lo que son las que pueden producir mayor daño a las estructuras.

La velocidad y la distancia a las que se pueden transmitir las ondas sísmicas dependen de las propiedades mecánicas del medio que atraviesan y pueden haber amplificaciones locales de ondas de determinadas frecuencias cuando se atravesan estratos de suelo con ciertas propiedades mecánicas. La amplitud y el contenido de frecuencia de las ondas en un sitio dado dependen principalmen-- te, de la magnitud del sismo, de la distancia del sitio a la zona donde se generó éste y de las propiedades del subsuelo local.

### I.1.2.- Características de los Sismos.

A continuación se denotan los conceptos más importantes, de la manera más clara posible de los términos sismológicos fundamentales:

- Sismología. Se puede definir como la ciencia y estudio de los sismos, -- sus causas, efectos y fenómenos asociados.
- Sismicidad. Se define como la frecuencia de sismos por unidad de área -- en una región dada. A menudo esta definición se emplea inadecuadamente, por lo que se puede definir en forma más general como la actividad sísmica de una región dada.
- Magnitud. Es una medida cuantitativa del tamaño de un sismo, independiente del lugar de observación. Se calcula a partir de mediciones de amplitudes registradas en sismogramas y se expresa en una escala logarítmica en números arábigos y decimales.

$$\log_{10} E = 11.8 + 1.5 M.$$

donde:

- E = energía en ergs.
- M = magnitud en la escala de Richter.

La escala de magnitudes que más se usa es la de Richter y se denota por M. Esta definida como:

$$M = \log A - \log A_0$$

donde:

- A = amplitud máxima de la traza registrada.
- A<sub>0</sub> = amplitud máxima para un sismo particular seleccionado como estándar.

- Intensidad. Es una medida subjetiva de los efectos de un sismo. Se re--

fiere al grado de sacudimiento en un sitio determinado. Varias escalas han sido propuestas en el pasado, destacando la de Mercalli y también una de Rossi y Forel. Entre ellas la adoptada más ampliamente es la escala de Mercalli modificada que tiene doce grados identificados por los números romanos del I al XII y que denotan en orden creciente la potencia destructiva del sismo en un lugar dado.

Los medidores de efectos sísmicos disponibles en el mercado, se pueden identificar en tres grupos:

- \* Sismógrafos. Así se conocen generalmente a los instrumentos que miden el desplazamiento inducido por los sismos. Básicamente el sismógrafo es un péndulo que traduce el movimiento del suelo en una corriente eléctrica, que posteriormente es amplificada y transformada en una gráfica por medio de un galvanómetro. Están diseñados para operar a varias amplificaciones con el objeto de cubrir al máximo el espectro de amplitudes de las señales sísmicas. Son aparatos de muy alta sensibilidad, capaces de detectar sismos --- fuertes pero lejanos o débiles cercanos; pero, por ser muy sensibles, no -- pueden registrar los terremotos fuertes cercanos porque el instrumento se satura o se dispara. Sin embargo, este tipo de sismos (los fuertes cercanos) son los que interesan más a la ingeniería. Con estos aparatos se mide la - Magnitud del sismo.

La gráfica obtenida con el sismógrafo recibe el nombre de sismograma. En el sismograma están impresas las características del proceso de ruptura, -- provocados por el temblor, las características del medio en que se propagaron las señales sísmicas y las del instrumento.

- \* Acelerógrafos. Son los instrumentos que miden la aceleración que tiene lugar durante el movimiento sísmico. Son aparatos que consisten en tres pequeños tambores con un sistema oscilante en su interior que proporcionan -- una señal electrónica que permite el registro digital o analógico, en ocasiones con acoplamiento a una computadora. De las aceleraciones pueden obtenerse las velocidades y desplazamientos provocados por el sismo registrado, con mucha mejor precisión de la lograda al obtener velocidades y aceleraciones a partir del registro de desplazamientos. Por las dos razones ante-

riores, los acelerógrafos son preferidos sobre los sismógrafos, sobre todo desde el punto de vista de la ingeniería.

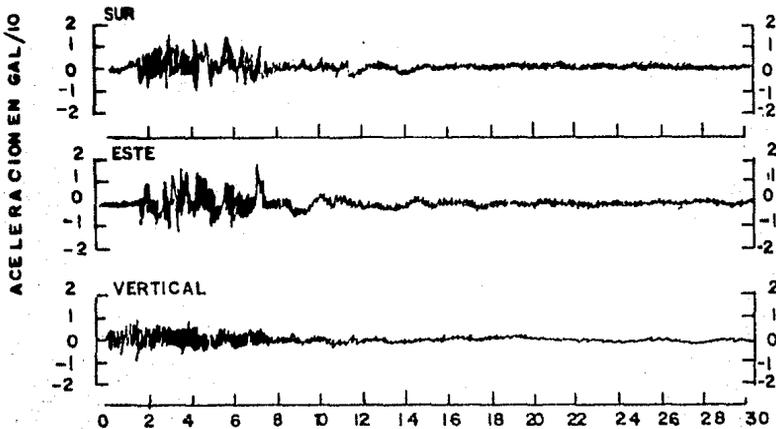


FIG I.4. REGISTRO DE UN ACELEROGRAFO

Un acelerograma es un registro de la historia de aceleraciones que provoca el sismo en una dirección determinada y constituye la descripción más útil del movimiento del suelo en un lugar. (En la Fig. 1.4 se presenta el registro de un acelerógrafo.).

Las aceleraciones que producen mayores daños en las estructuras son las horizontales; las aceleraciones verticales son de amplitud apreciable sólo en sitios cercanos al epicentro y producen sollicitaciones severas sólo en algunas formas estructurales particulares.

- \* Sismoscopios. Normalmente es un péndulo invertido el cual se encarga de medir o registrar los desplazamientos del suelo, los cuales están graduados mediante un porcentaje de amortiguamiento definido. Estos desplazamientos no son registrados en función del tiempo, y como en ocasiones son bastante grandes en la ocurrencia de un sismo intenso, ya que no se utilizan de una forma común por que el impacto de las ondas sísmicas se sale de la escala de registro y por lo tanto no resultan muy útiles. Estos instrumentos dan la dirección del primer impulso debido a un temblor.

## Los movimientos Vibratorios.

El análisis de un movimiento vibratorio, requiere del conocimiento de tres características fundamentales, asociadas con el elemento en que se inducen las vibraciones.

- 1.- El período natural de vibración: Es el tiempo requerido para que la estructura que vibra complete un ciclo de la oscilación. Este parámetro está definido por las características particulares de cada cuerpo vibratorio y, depende del peso de la estructura y de la forma en que esté distribuido en ella, así como de su rigidez ante fuerzas laterales, es decir, de la oposición que presenta la estructura contra deformaciones inducidas por fuerzas horizontales ( $K = V/x$ ). En términos generales, en las edificaciones el período es más largo cuando más alta es la estructura y también es más largo en cuanto más pesada es la edificación.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

donde :

k = rigidez

m = masa

$\omega$  = frecuencia circular del sistema no amortiguado.

- 2.- La amplitud de la vibración. La excitación de una estructura para que vibre, exige siempre de la inducción de una fuerza externa a ella, la cual induce un desplazamiento que de hecho es la amplitud de la vibración y al desaparecer la fuerza que creó esta amplitud, la rigidez de la edificación genera la recuperación de la deformación, que a su vez produce un desplazamiento en el sentido opuesto al inicialmente inducido, generándose así la vibración libre de la estructura.

- 3.- El amortiguamiento de la vibración. En todo cuerpo que vibra, hay un -- elemento que genera disipación de energía y que impide que una vibración libre continúe indefinidamente. En las estructuras, el amortiguamiento proviene de la disipación de energía que se crea en los elementos estructurales al deformarse y también, cuando es el caso, por la fricción general entre elementos de la estructura que se mueve diferencialmente.

El amortiguamiento de una estructura es también una característica particular de ella y es uno de los parámetros que requieren mayor atención en la Ingeniería Sísmica aplicada a las estructuras, para precisar su valor.

En el caso de los sismos, las vibraciones en las edificaciones se producen -- no con un solo desplazamiento inicial inducido, sino que el propio movimiento del suelo modifica sucesivamente los estados de vibración de las edifica-- ciones, creando lo que se llama una vibración forzada. En este caso, la vibra-- ción inducida en la estructura depende no sólo de las características propias de la edificación que antes se han mencionado, sino también, de las caracte-- rísticas correspondientes al elemento que induce la vibración. Es muy import tante el caso en que el período de vibración de la fuente de excitación coincide con el período natural de la estructura, en cuyo caso se presenta el fenómeno conocido como resonancia y que se traduce en la creación de importan tes amplificaciones de las deformaciones generadas y en consecuencia, de las aceleraciones producidas, es decir, la magnificación de las fuerzas horizonta les generadas en la estructura por el movimiento oscilatorio.

El espectro de un temblor representa ciertas respuestas máximas estructura--- les, como la aceleración, en función del período natural y grado de amortigua miento de la estructura. Con este fin la estructura se idealiza como elástica y con un solo grado de libertad, a la manera de un péndulo.

Es usual trabajar con espectros correspondientes a un grado de amortiguamien to de 5% para la mayoría de las estructuras urbanas.

## I.2.- LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985 EN LA CIUDAD DE MEXICO.

### I.2.1.- Características del sismo del 19 de Septiembre.

Como ya se mencionó la ubicación de las grandes fallas geológicas que constituyen las zonas de contacto entre las placas y las zonas donde se generan los sismos se observan claramente en la Fig. I.1., destacando en nuestro continente las grandes placas continentales de Norteamérica y Sudamérica en contacto, hacia el Oriente, con placas oceánicas aparentemente de menor magnitud, tales como la placa del Pacífico, la de Cocos, enfrente de nuestro país y la placa de Nazca al Sur. (Fig. I.5.).

Se sabe que al Suroeste se localiza la fosa de Acapulco que constituye una gran parte de la frontera entre la placa Norteamericana y la placa de Cocos, cuyo deslizamiento por abajo de la primera genera la mayoría de los sismos de gran magnitud que nos afectan. La parte más dinámica de este contacto, se localiza principalmente frente a la costa de los estados de Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

La placa de Cocos ocupa un área aproximada de 1 900 000 Km<sup>2</sup> y se desplaza a una velocidad de 6 a 7 cm. por año con respecto al continente. La energía liberada en el movimiento telúrico del 19 de Septiembre, se debió al desplazamiento de esta placa con subducción bajo la placa Norteamericana.

En base a los datos obtenidos de los instrumentos, se puede establecer que el sismo que afectó a la ciudad de México y otras del interior de la República - como Colima, Ciudad Guzmán, Lázaro Cárdenas e Ixtapa, tuvo su origen en la fosa de Acapulco en las coordenadas 17.68° de latitud Norte y 102.47° de longitud Oeste, aproximadamente a unos 33 Km al Suroeste del puerto y Cd. Cárdenas, en los límites de los estados de Michoacán y Guerrero (Fig. I.6).

El epicentro no fue más profundo de 35 Km; la distancia epicentral a partir de la ciudad de México fue aproximadamente 400 Km. en dirección Suroeste y la hora en que se produjo fue a las 07 hrs. 19 min. 44 segundos hora local.

De acuerdo a la evaluación cualitativa de los daños provocados por el sismo en la ciudad de México, su intensidad, en base a la escala de Mercalli modifi



FIG. I.5



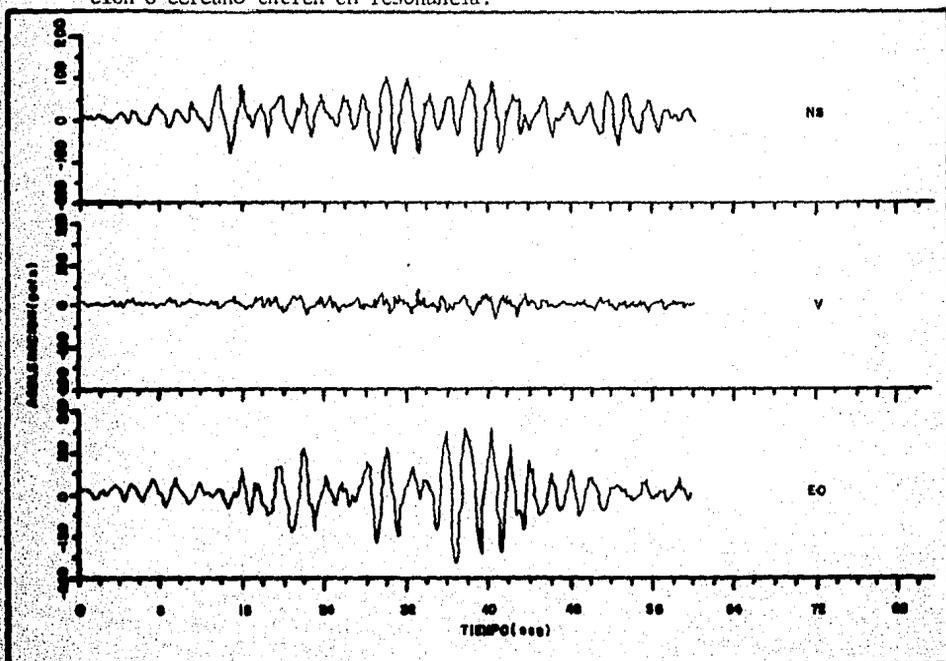
FIG. I.6 LOCALIZACION DEL EPICENTRO DEL TEMBLOR DEL 19 DE SEPTIEMBRE

cada, varió entre IX y X. La magnitud del sismo fué de 8.1 en la escala de Richter.

En la figura I.7 se muestra la gráfica de tiempo en el eje horizontal y aceleración en el eje vertical, registradas en el acelerógrafo del centro SCOP para las direcciones Norte-Sur, Este-Oeste y vertical, donde se puede observar que las aceleraciones máximas registradas fueron de 98 gals. en la dirección Norte-Sur, que corresponden al 10% de la aceleración de la gravedad, 168 gals en la dirección Este-Oeste, que corresponde al 17% de la aceleración de la gravedad y de 30 gals en el sentido vertical, o sea el 3% de la aceleración de la gravedad aproximadamente.

Adicionalmente, los registros indican que el período dominante, o sea el tiempo que transcurre entre cada onda y la siguiente, en la parte más intensa del sismo fue de 2 segundos.

En el acelerograma se muestra que en el intervalo de mayor intensidad del sismo, que fue de 45 segundos aproximadamente, el período fue casi uniforme y con variaciones muy lentas en su amplitud, lo que sumado a la gran duración del sismo ayuda notablemente a que las estructuras con este período de vibración o cercano entren en resonancia.



**FIG. I. 7**

En la figura I.8 se observan las gráficas de la aceleración, la velocidad y el desplazamiento para la componente Norte-Sur, referidos al temblor del 19 de Septiembre. El desplazamiento entre los segundos 30 y 40, fue de 20 cm. - hacia el Norte y 20 hacia el Sur, aproximadamente.

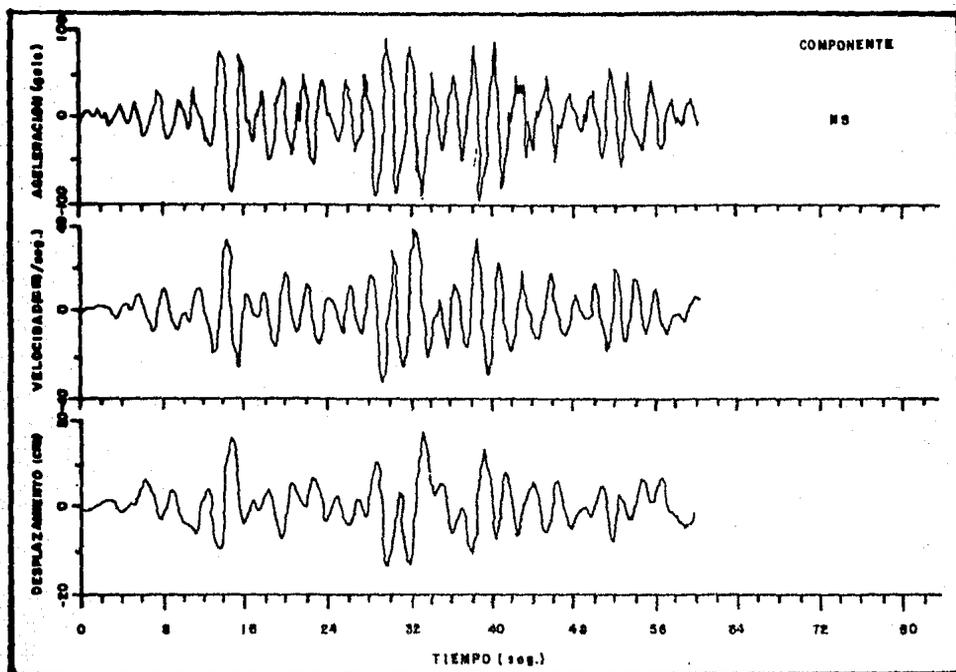


FIG. I.8

En las gráficas de la figura I.9 se muestra lo mismo que se observó en la figura anterior, pero en relación con la dirección Este-Oeste. Al igual que en la Norte-Sur alrededor del segundo 40 el máximo desplazamiento fue de 20 cm. en un sentido y en otro.

En terreno duro y relativamente firme, la aceleración horizontal máxima registrada estuvo entre 1 y 4% de la gravedad.

Comparativamente, el sismo de 1957 tuvo una magnitud de 7.7 grados en la escala de Richter, habiéndose inferido una aceleración horizontal máxima en la su-

perficie del suelo de 60 gals, es decir el 6% de la aceleración de la gravedad, lo que equivale a que la aceleración del sismo de 1985 es tres veces mayor que la de 1957.

En forma similar, el sismo de 1979 fue de 7.6 grados en la escala de Richter, habiéndose medido en ese entonces una aceleración máxima de 30 gals, lo que equivale a decir que la aceleración máxima del sismo de 1979 fue la mitad de la del sismo de 1957.

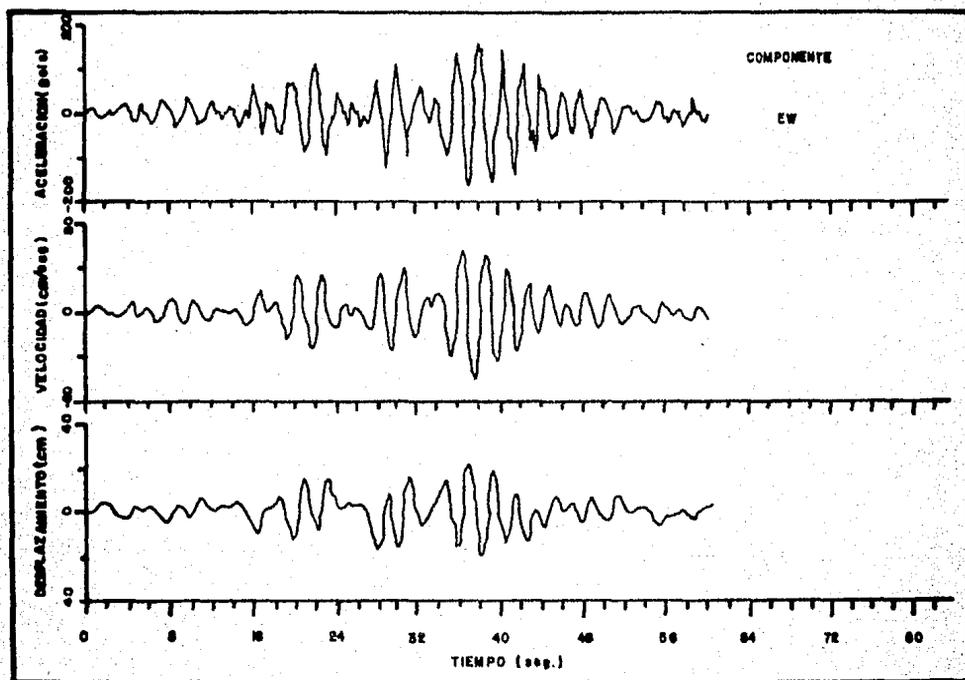


FIG. I.9

En la tabla I.1. se enlistan los grandes sismos ocurridos en México.

A los temblores someros sigue sistemáticamente una serie de sismos conocidos como réplicas, generalmente de magnitud bastante menor a la del movimiento --

CATALOGO DE LOS GRANDES SISMOS DE MEXICO  
( $M_s \geq 7.0$ ) POCO PROFUNDOS  $H \leq 65$  Km.

22

REGION COMPRENDIDA ( $15^\circ - 20^\circ$  N,  $94.5^\circ - 105.5^\circ$  O)

SUCESO	FECHA(1)	HORA(1) h:m:s	LATITUD (°N)	LONGITUD (°O)	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD (Ms)
1	20 ENE 1900	06:33:30	20.0	105.00	H	8.1
2	16 MAY 1900	20:12:00	20.0	105.00	H	7.6
3	14 ENE 1903	01:47:36	15.0	98.00	H	8.3
4	15 ABR 1907	06:08:06	16.7	99.20	H	8.2
5	26 MAR 1908	23:03:30	18.00	99.00	80	7.7
6	27 MAR 1908	03:45:30	17.00	101.00	S	7.2
7	30 JUL 1909	10:51:54	16.80	99.90	S	7.6
8	7 JUN 1911	11:02:42	19.70	103.70	H	7.9
9	16 DIC 1911	19:14:18	16.90	100.70	50	7.6
10	19 NOV 1912	13:55:07	19.93	99.83	H	7.0
11	21 NOV 1916	06:25:24	13.00	100.00	H	7.0
12	29 DIC 1917	22:50:20	15.00	97.00	H	7.1
13	22 MAR 1926	04:17:03.2	16.23	95.45	H	7.7
14	17 JUN 1928	03:19:28.2	16.53	96.70	H	8.0
15	4 AGO 1928	18:28:16.8	16.83	97.61	H	7.4
16	9 OCT 1928	03:01:07.7	16.34	97.29	H	7.8
17	15 ENE 1931	01:50:40.2	16.10	96.64	H	8.0
18	3 JUN 1932	10:36:52.2	19.84	103.99	H	8.4
19	18 JUN 1932	10:12:10.	19.50	103.50	H	8.0
20	30 NOV 1934	02:12:15.6	19.00	105.31	H	7.2
21	23 DIC 1937	13:17:58.6	17.10	98.07	H	7.7
22	15 ABR 1941	19:09:51.0	18.85	102.94	H	7.9
23	22 FEB 1943	09:20:44.6	17.62	101.15	H	7.7
24	14 DIC 1950	14:15:49.6	17.22	96.12	H	7.3
25	28 JUL 1957	08:40:10.2	17.11	99.10	H	7.7
26	11 MAY 1962	14:11:57.1	17.25	99.58	H	7.2
27	23 AGO 1965	19:46:02.9	16.30	95.80	H	7.8
28	2 AGO 1968	14:06:43.9	16.60	97.70	H	7.4
29	30 JUN 1973	20:01:18.0	18.39	103.21	32	7.5
30	29 NOV 1978	10:52:47.3	16.00	96.89	19	7.8
31	14 MAR 1979	11:07:11.2	17.46	101.46	15	7.6
32	25 OCT 1981	03:22:13	17.75	102.25	20	7.3
33	19 SEP 1985	13:15:50.0	18.11	102.39	16	8.1
34	21 SEP 1985	01:37:09.4	17.28	101.38	H	7.6

(1) FECHA Y HORA EN EL MERIDIANO DE GREENWICH

TABLA-I.1 LOS GRANDES SISMOS DE MEXICO

original. El fenómeno dura desde varios días hasta unos años, dependiendo de la magnitud de la primera sacudida. La magnitud y frecuencia de las réplicas tienden a disminuir pronunciadamente con el tiempo. Los focos de las réplicas se hallan en la vecindad del primer temblor. Sólo muy excepcionalmente se han llegado a presentar dos sismos de magnitud comparable en el lapso de pocos días. Hasta ahora han ocurrido docenas de réplicas. La más intensa tuvo una magnitud que se ha calificado entre 6.8 y 7.5 y fue responsable de daños adicionales en construcciones de la Cd. de México y el colapso de otras dañadas por el terremoto anterior.

### I.2.2.- Efectos de los Sismos en las Superestructuras.

Los efectos que causa un sismo en las edificaciones ubicadas en diferentes lugares depende además de las características propias de las estructuras de --- ciertas características del movimiento sísmico como fenómeno geológico.

La formación arcillosa que constituye el subsuelo de la ciudad de México, al verse afectada por las ondas sísmicas responde con un movimiento oscilatorio cuyo período depende del espesor y de las propiedades mecánicas de las arcillas y por lo tanto es diferente en distintos sitios de la ciudad. Las amplitudes de los movimientos y las magnitudes de las aceleraciones máximas son -- amplificadas con respecto a las que ocurren en la base rígida sobre la que -- descansa la formación arcillosa.

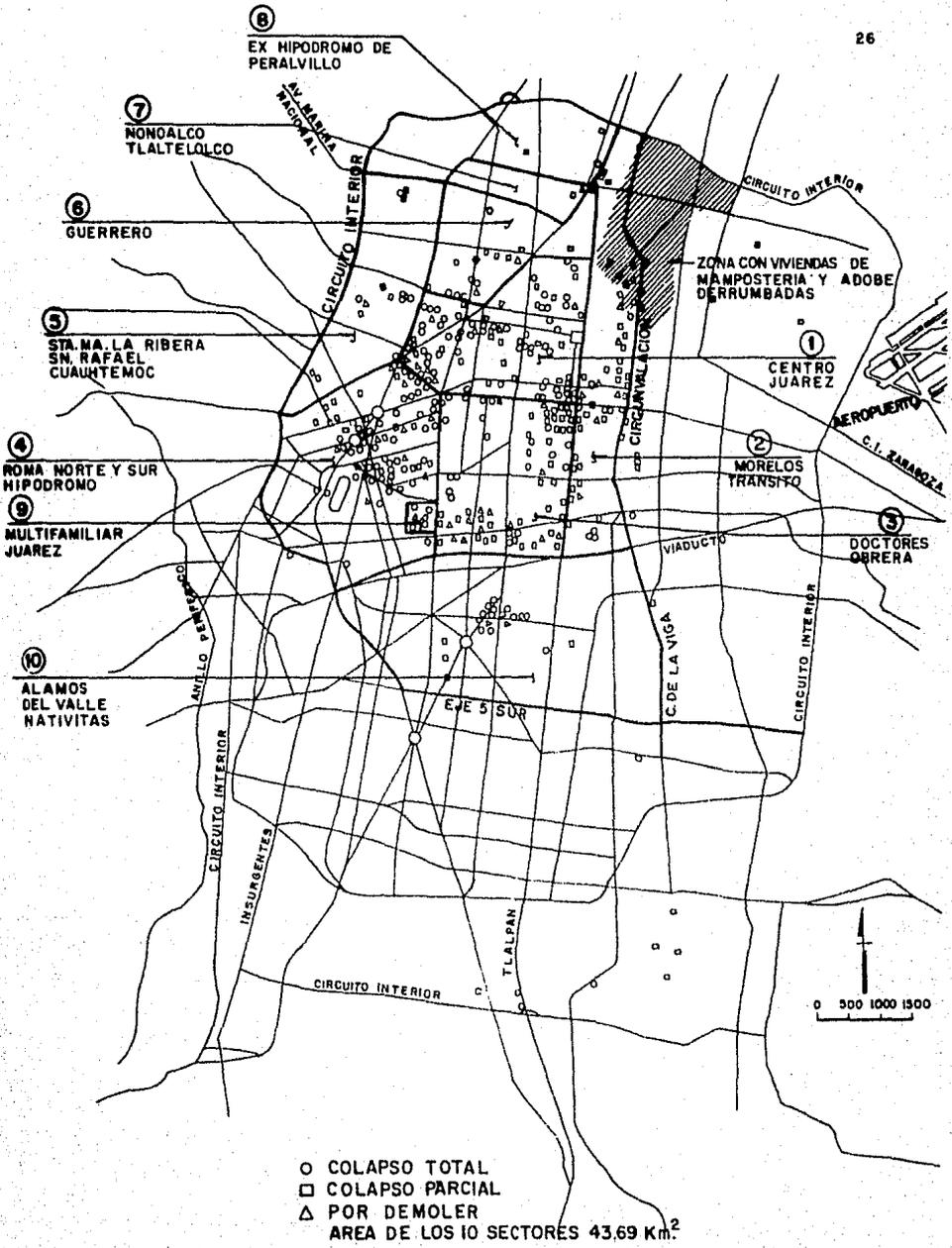
En la figura I.10 se observan dos cortes estratigráficos realizados en avenidas importantes de la ciudad a una profundidad de 50 m. aproximadamente; en los que se definen depósitos compresibles del estrato superior, la primera capa dura, el estrato compresible inferior y los depósitos firmes inferiores.

Para poder tener una localización precisa de las estructuras dañadas, se tomará como base la sectorización oficial delimitada, principalmente al Norte por el Circuito Interior, al Sur por División del Norte y eje 5 Sur (Eugenia), al Oriente por la Calzada de la Viga y Circunvalación y al Poniente por el Circuito Interior. Esta gran zona se dividió en 10 sectores para realizar el levantamiento de daños en las estructuras. (Fig. I.11).

Los daños observados se clasificaron en :

- Estructuras con colapso total. Se consideran a todas aquellas estructuras que estaban totalmente derrumbadas.
- Estructuras con colapso parcial. Se consideran todas aquellas estructuras que presentaron derrumbres parciales de sus niveles superiores o grandes giros de su base o algún daño que indudablemente hace que deban demolerse completamente.
- Estructuras con daños graves. Se consideran a todas aquellas edificaciones





**FIG. I. II. INVENTARIO DE DAÑOS PRODUCIDOS POR EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE**

que presentaron daños muy graves en sus elementos estructurales a simple vista y que pueden ser reconstruidas o demolidas en el futuro.

De las edificaciones dañadas (757) el 55% fueron casas habitación, vecindades y multifamiliares, las de la administración pública representan el 9% y las de la administración privada el 23%. Los que se colapsaron totalmente fueron 133 (18%), los de colapso parcial sumaron 353 (47%) y el resto con daños graves que en su mayor parte se tendrán que demoler resultaron 271 (35%).

La habitación de uno a dos niveles fue la que resultó menos dañada y representó el 1% del total de edificaciones de esta altura, que fueron 37 484. Los edificios de 6 a 15 niveles fueron los más afectados; en la comparación relativa los de 6 a 8 representaron el 8.4%, los de 9 a 12 el 13.5%, los de más de 12 el 10.4%.

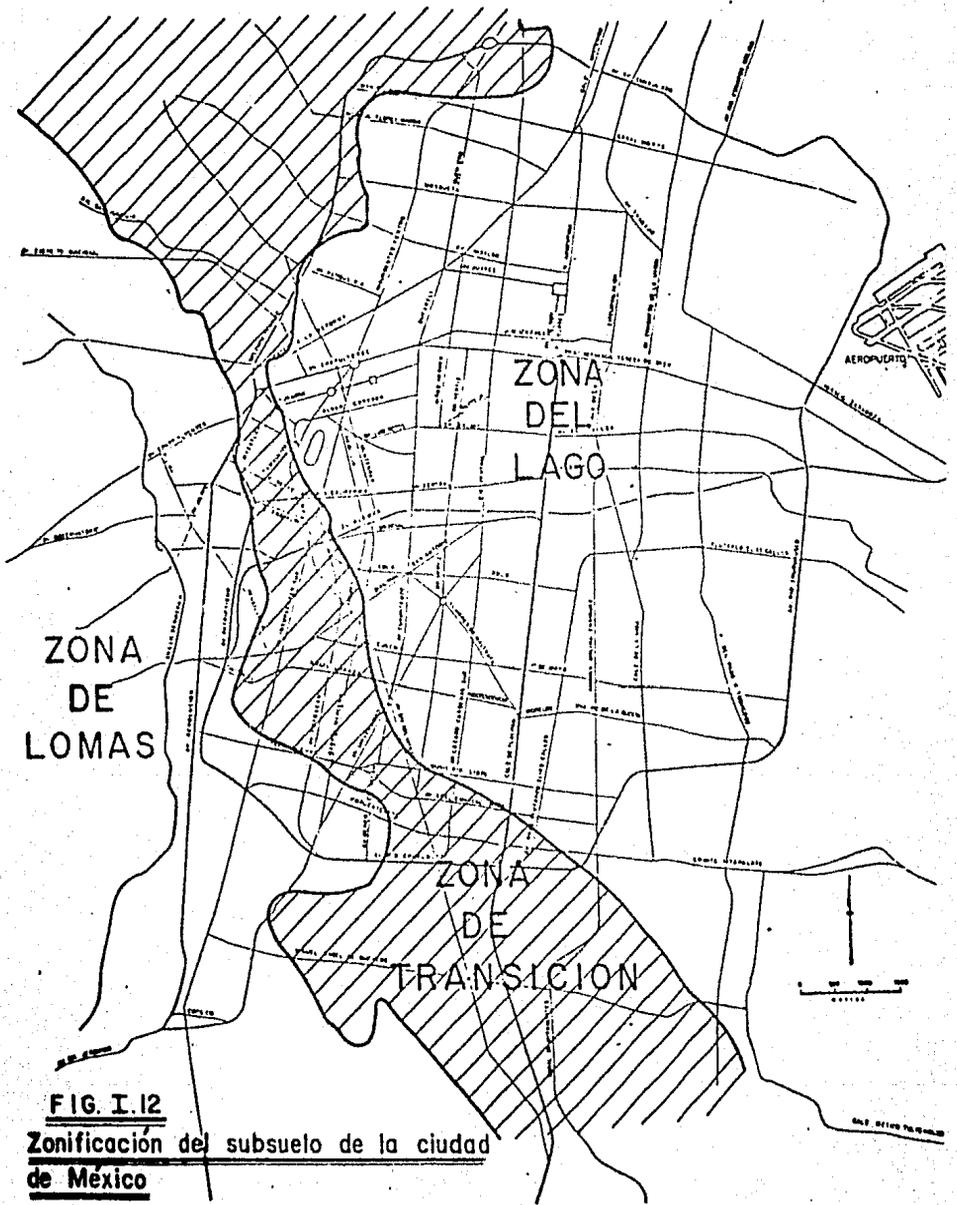
Finalmente de las 53 358 edificaciones existentes en todos los sectores, resultaron colapsados y fuertemente dañados 757 que corresponden al 1.4%

Los resultados que se obtuvieron de los edificios con daños respecto al tipo de estructura se observa que las de concreto eran el 93%, acero el 1% y mixto el 6%.

En cuanto a su comparación relativa, de acuerdo al tipo de marco, el resultado fue que las estructuras con trabe column y losa, falló el 3% y las de columna con losa reticular o plana, falló el doble de las antes mencionadas o sea el 6%.

En la fig. I.12. se muestra la zonificación más comúnmente usada del subsuelo de la ciudad en la que se definen una zona de terreno firme, una de terreno compresible y una franja intermedia, llamada de transición, en la que el espesor del terreno compresible es reducido.

El área dañada se encuentra ubicada totalmente en la zona de terreno compresible de la cuenca del Valle de México. Fuera de esta zona sólo se han tenido noticias de daños leves, generalmente no estructurales, en algunos edificios altos.



**FIG. I.12**  
**Zonificación del subsuelo de la ciudad**  
**de México**

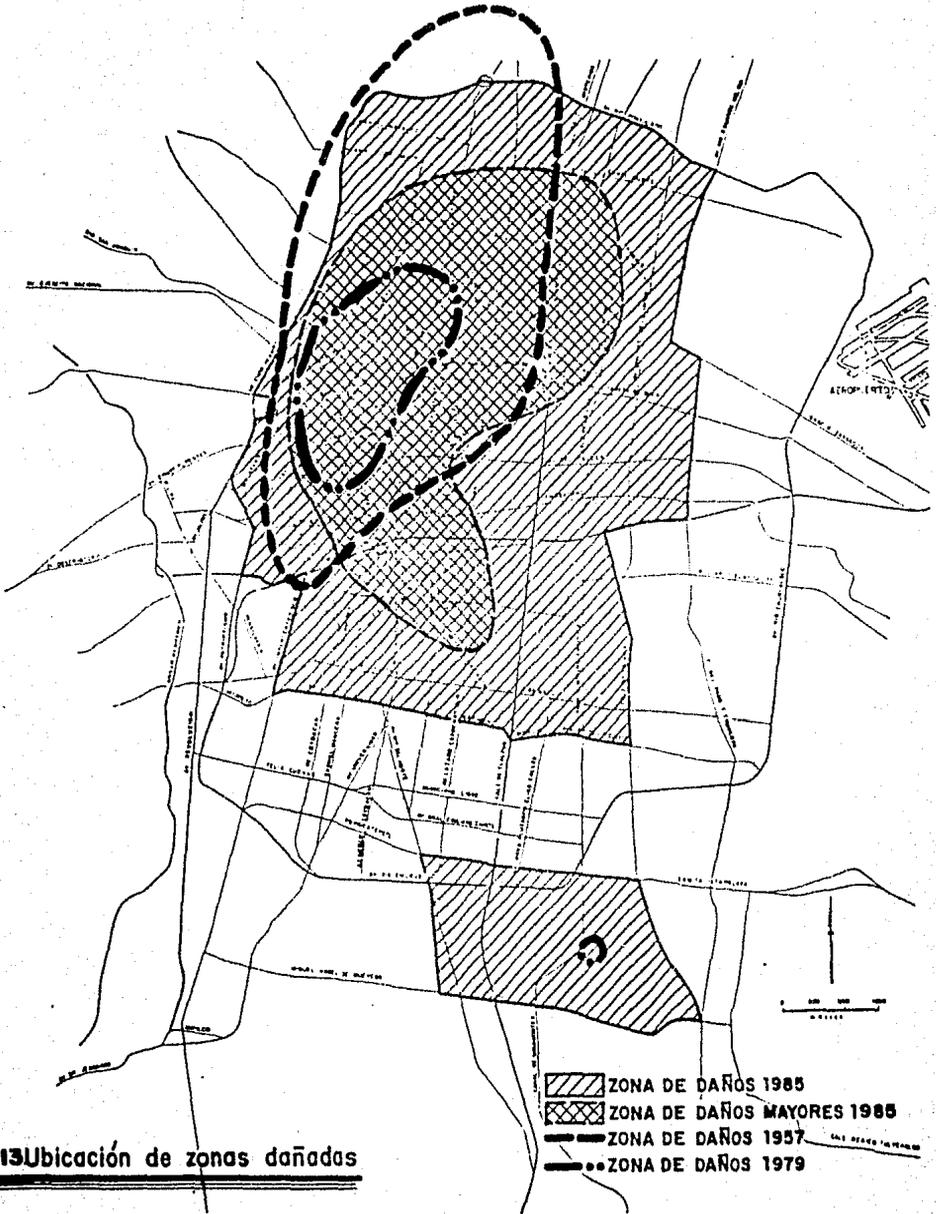
La zona de más alta gravedad de daño se ubica en el Poniente de dicha zona -- compresible donde la profundidad de la primera capa dura ésta entre 26 y 32 m., y la profundidad de la segunda capa dura entre 30 y 46 m.

El hecho de que en las zonas en que la profundidad de los estratos compresibles es pequeña o nula, las edificaciones sufrieron daños más leves puede asociarse totalmente con que la amplitud del movimiento fue menor debido a que el período de vibración de estas capas amplificó en menor grado el movimiento transmitido por el terreno firme subyacente. El hecho de que el daño haya sido menor en las zonas en que los estratos son más profundos, se debe en parte a la misma razón, pero también es ocasionado por la menor densidad de edificios altos en esa parte de la ciudad.

Comparando las zonas más dañadas por estos sismos con las que correspondieron a los dos sismos anteriores para los que hay levantamientos de daños en la Ciudad: el del 28 de Julio de 1957 y el del 14 de Marzo de 1979, en la fig. I.13 se aprecia que ahora la zona de daños severos tienen un tamaño notablemente superior y se extiende mucho más hacia el Sur-Oriente, mientras que al Poniente sigue estando limitada por la frontera con la zona de transición. La zona de daños más severos en los sismos de 1985 muestra una coincidencia parcial con la de las anteriores.

Se encontró una incidencia grande de fallas en niveles intermedios (3ro. y 4to. nivel) y en los niveles superiores. Esto indica en algunos casos que la falla no se presentó durante el 1er. modo de vibración. En un gran número de estructuras aparecieron fallas graves en columnas y muros de carga, mientras que los daños en sus trabes eran menores.

Muchos edificios mostraron daños y desplomes ocasionados por fallas del suelo de cimentación, además, en algunas zonas el suelo se deformó muy notablemente.



**FIG. 13** Ubicación de zonas dañadas

### Tipos de fallas estructurales.

La razón de la falla de un gran número de edificios, es en primer término de la excepcional intensidad que el sismo alcanzó en una zona de la ciudad -- donde los movimientos del terreno fueron amplificadas en forma extraordinaria por las características de vibración de los estratos del terreno blando, que componen el subsuelo de la ciudad. El movimiento del suelo en esa zona fue caracterizado por la repetición de un número elevado de ciclos de gran amplitud y con frecuencia cercana a los dos segundos.

Muchas construcciones en una zona de la ciudad se vieron sometidas a sollicitaciones superiores a las especificadas en el reglamento de construcciones vigente.

Los modos de falla más prevaletientes fueron :

- Comportamiento frágil por falla de columnas. En la gran mayoría de fallas de edificios a base de marcos, el colapso fue originado por la falla de -- los extremos de las columnas por flexocompresión o por cortante o, por una combinación de ambos efectos. El estado de las vigas, o losas reticula-- res, hace pensar que no hubo fluencia del refuerzo en estos elementos y -- que, por lo tanto, no se pudo desarrollar el comportamiento dúctil que se requiere para que sean válidos los factores de reducción que por este concepto permite adoptar el reglamento actual. El modo de falla más común -- puede identificarse como la pérdida de capacidad de carga vertical del edi-- ficio debido al progresivo deterioro del concreto de las columnas por la -- repetición de un elevado número de ciclos de carga laterales, que excedie-- ron su resistencia en flexocompresión o en cortante. Lo anterior fue propi-- cado en diversos casos por la escasez y excesiva separación del refuer-- zo transversal de la columna, lo que dió lugar al pandeo de las barras de refuerzo longitudinal y a un confinamiento muy pobre del concreto conteni-- do en el núcleo de las columnas.
- Efecto de muros divisorios de mampostería. La presencia de los muros de -- mampostería contribuyó en forma significativa a la falla, como son: Su -- distribución asimétrica en planta, primer piso flexible y asimetría, causa-- das por el cambio en la disposición original de los muros.

- Daños previos por sismos.
- Existencia de columnas cortas.
- Choque entre edificios adyacentes.
- Sobrecarga excesiva de la construcción.
- Punzonamiento de losas reticulares. Estos daños se debieron a la existencia de la tensión diagonal. Además la suma de los efectos de cargas verticales y del sismo en la periferia de la columna, provocaron la falla por cortante en la losa.

#### 1.2.3.- Efectos de los sismos en las cimentaciones.

Los sismos de Septiembre causaron plegamientos del suelo en algunas zonas de la ciudad y en algunas calles como nunca antes se había observado, estos plegamientos fueron provocados por la onda sísmica superficial que en algunos casos provocaron la plastificación o falla de arcilla.

Las fallas en cimentaciones de estructuras fue rara, pero si ocurrió. Se presentó en algunos edificios esbeltos con momento de volteo alto, cimentados por contacto o con pilotes de fricción. Hubo estructuras en que la falla incipiente de la cimentación se presentó, pero ésta no fue la determinante del colapso del edificio.

También es concebible en ciertos casos, pero no puede determinarse con certeza, la ocurrencia del efecto de carga axial y desplazamiento en columnas de planta baja por falla inicial incipiente de la cimentación seguida de pandeo, sobre todo en edificios de esbeltez moderada cuya planta baja tenía elementos de carga constituidos sólo por columnas (piso suave).

No puede descartarse la posibilidad de que cierto número de edificaciones hayan colapsado por haber sufrido reducción de su capacidad estructural a causa de hundimientos diferenciales excesivos ante el sismo. Estos casos podrían, a

a su vez, subdividirse en dos grupos según la causa del hundimiento excesivo: carga de la propia estructura o asentamiento regional del Valle.

Otros aspectos importantes en la respuesta de las cimentaciones se observó, en detalle, en el comportamiento de cimentaciones piloteadas en que se presentó la falla estructural de los pilotes en una sección próxima a su conexión con la estructura de cimentación o en secciones en donde el perfil estratigráfico tiene cambios bruscos de rigidez.

Las construcciones altas, sostenidas por pilotes de punta se comportaron un poco mejor que las soportadas por pilotes de fricción ante el sismo. Por sus propiedades, éstos absorben eficientemente los esfuerzos y/o momentos de volteo, generados por los movimientos telúricos. Sin embargo, pueden experimentar desplazamientos horizontales que ponen en peligro la estabilidad del edificio y dañan las banquetas, las tomas de agua y drenaje.

Las cimentaciones superficiales corren el peligro de colapsarse por volteo si los movimientos exceden su capacidad de carga, y en construcciones con este tipo de cimentación, también hubo algunos problemas de desplomes considerables ocasionados por el sismo.

En realidad no existe un sistema para cimentar que no ofrezca limitaciones y defectos. Es necesario tomar en cuenta las características del subsuelo para aplicar la mejor solución que integre los diferentes aspectos del comportamiento de la cimentación ante sollicitaciones de origen sísmico.

## C A P I T U L O   I I

### LOS EXPLOSIVOS Y SU USO

#### II.1.- ANTECEDENTES.

##### II.1.1.- Historia de los Explosivos.

Históricamente, el crecimiento del uso de explosivos va ligado al mejoramiento de nuestro nivel de vida, ya que virtualmente toda persona usa productos fabricados de recursos naturales, los cuales fueron extraídos de la tierra mediante voladuras con explosivos.

Dicho crecimiento también va correlacionado con el desarrollo tecnológico de los explosivos, tanto en sus tipos de productos como en sus aplicaciones, y el cual es favorecido por el mercado, el aumento de demanda del carbón y el agotamiento de yacimientos de minerales que hace necesario extraer mayor cantidad de mineral de menor calidad y remover un porcentaje más alto de sobrecargas para obtener la misma cantidad de mineral. Tecnológicamente han mejorado por los reglamentos gubernamentales que son más estrictos, el incremento de la inquietud pública acerca de la seguridad, el ruido, las vibraciones, etc.

Los principales usos de los explosivos son en las minas, canteras, trabajos de construcción, militares, y actualmente en nuevas formas de aplicación como son la obtención de diamantes industriales con explosiones controladas, para ligar metales disimilares, etc., y como la de que es objeto esta tesis, Demolición de edificios.

En la historia de los explosivos, se pueden distinguir tres edades, caracterizadas con el nombre del explosivo de mayor consumo en dicho período, las cuales tienen traslapes por el desplazamiento gradual de unos con respecto a otros.

EDAD :

EFICIENCIA :

- |  |   |
|--|---|
| 1.- La de la Pólvara negra<br>(siglo X a 1930-1940)  | Movimiento de rocas, limitado por el deficiente equipo de perforación.  |
| 2.- La de la Dinamita<br>(1866 a los 50's)           | Movimiento y rompimiento de rocas, - equipo de perforación para pequeños diámetros eficiente y limitado por - la resistencia al agua. |
| 3.- ANFO e Hidrogeles.<br>(los 60's a la actualidad) | Buena fragmentación de la roca, equipo de perforación eficiente para diámetros pequeños y grandes y resistencia al agua.              |

La pólvora negra :

El origen de los explosivos empieza en el siglo X en China con el uso de la pólvora negra en fuegos artificiales y cohetes, y ya como explosivo a principios del siglo XVI en la minería con la voladura de rocas a parte de su - ya grande demanda como propulsor en armas de fuego, hasta llegar a ser una industria comercial, mejorando su calidad y aumentando sus usos como en el de la construcción.

Posteriormente la dinamita desplaza a la pólvora en casi todos sus usos, de tal forma que en la actualidad únicamente se utiliza para la fabricación de mechas de seguridad, fuegos artificiales y consumo militar.

## La Dinamita :

En 1846 Ascanio Sobrero, descubre la nitroglicerina, pero él mismo prohíbe - su uso por sus propiedades inestables y alto poder. Su transportación y carga en estado líquido es muy sensible al impacto y no fue utilizada comercialmente hasta que Alfredo Nobel la volvió más estable mezclándola con tierra-diatomácea, creando la dinamita en 1867; la cual tiene una velocidad de detonación mayor que la pólvora.

Con el invento de la dinamita se inician grandes investigaciones científicas para resolver problemas causados por el uso de explosivos, los cuales son:

- Las explosiones de gas metano y polvo en minas de carbón, eran causadas - por la temperatura y duración de la flama del explosivo, éstas se evitaron produciendo dinamitas con fórmulas más seguras, pasando a la lista de los explosivos "Permisibles", es decir aprobados por el gobierno para su uso en minas gaseosas.
- La dinamita se logró fabricar y utilizar con temperaturas más bajas que - el punto de congelamiento, con mezclas especiales.
- Disminución de gases tóxicos producidos por la detonación de la dinamita ya que estos causan dolores de cabeza, estos son ocasionados por el compuesto químico primordial de la dinamita, la nitroglicerina, la cual entra al cuerpo a través de la piel por tacto y/o al respirar sus emanaciones ya sea donde se fabrica, almacena, en una detonación y aún inclusive en los escombros de una voladura.
- Se estudió el uso de nitrato de amonio con nitroglicerina resultando las dinamitas de nitrato de amonio, las cuales aunque un 30% menos potentes - que la convencional y su debilidad al agua, se aceptaron rápidamente por su bajo costo.

De la misma manera que la dinamita desplazó a la pólvora, el nitrato de - amonio-aceite combustible (ANFO) y los hidrogeles lo hacen con la dinami-

ta, y aún en la actualidad, ya que ésta todavía se utiliza pero su mercado está decreciendo.

#### El ANFO y los Hidrogeles :

Ambos explosivos y la mayoría de los explosivos comerciales actuales, tienen como ingrediente básico el nitrato de amonio, el cual fue sintetizado por primera vez en 1659 por J.R. Glauber y también es en la actualidad un importante fertilizante en la industria de la agricultura.

El nitrato de amonio empezó a utilizarse como explosivo al sustituir parcialmente la nitroglicerina en las dinamitas, posteriormente se usó como componente básico pero requiriendo de sensibilizadores para iniciar su detonación, - es decir por tener las características de una sensibilidad relativa, bajo costo, propiedades que no producen dolores de cabeza y seguridad en su manejo, - se le denominó como agente explosivo.

El nitrato de amonio como agente explosivo empieza a tener gran auge por el desarrollo técnico de su fabricación con el proceso de granulado y por su bajo costo al usar el nitrato de amonio clase fertilizante con un sensibilizador de combustible carbonoso sólido.

Posteriormente se sustituyeron los combustibles sólidos como el carbón, por el aceite combustible, resultando el ANFO (Ammonia Nitrogen Fuel Oil) Nitrato de Amonio-Aceite combustible de la actualidad.

Por lo tanto por economía, seguridad y cargado mecánico (a granel) el ANFO -- sustituyó a la dinamita, sobretodo en barrenos secos, ya que la única debilidad del ANFO es su solubilidad con el agua ya que inclusive en barrenos húmedos queda desensibilizado.

Una solución contra el agua en los explosivos de nitrato de amonio es protegiéndolos químicamente, de esta forma se originaron los hidrogeles (water gels) con las mismas características del ANFO, economía, alta densidad de carga y desempeño, baja sensibilidad al impacto, ausencia de compuestos que causaran dolores de cabeza y adicionalmente resistencia al agua, con lo cual la

dinamita quedó desplazada.

Paralelamente el desarrollo técnico de los explosivos, las técnicas de barrenación progresaron primero en diámetros pequeños y posteriormente en grandes, así como los "dispositivos de iniciación", de los cuales depende el uso apropiado de los explosivos comerciales y que a continuación se describe su evolución de manera general.

Para la iniciación de la pólvora no se requieren fuentes especiales de calor, ya que esta es muy sensible a la flama, por lo tanto los primeros métodos para disparar la pólvora fueron muy inseguros, en 1831 se desarrolló la mecha de seguridad de mineros a prueba de agua.

Para la dinamita, la mecha de seguridad de pólvora no es confiable, por lo tanto Alfredo Nobel experimentó con varias mezclas de pólvora negra y nitroglicerina ("encendedores"), en 1867 patentó al fulminato de mercurio, dando un paso muy importante en el desarrollo comercial de los explosivos modernos, ya que demostró la importancia de detonar inicialmente un alto explosivo con la combinación de una onda caliente de choque para lograr un máximo de energía, creando el primer "fulminante de detonación".

Desde 1745, se demostró la iniciación de la pólvora negra mediante una chispa eléctrica, posteriormente se desarrolló el método de alambre puente de voladura eléctrica, constituido por el flujo de una corriente eléctrica a través de un pequeño alambre desde una batería de alto amperaje llamado deflagrador, -- considerado como la primera máquina explosora que H. Julius Smith perfeccionó inventando la máquina dinamoeléctrica que todavía se usa en la actualidad, ésta y la introducción de finos alambres- puente de platino resolvieron los problemas en voladuras eléctricas, posteriormente en 1948 las máquinas explosoras del tipo de descarga de condensador han ido reemplazando a las de tipo de generador, ya que tienen unidades de poder más seguras y confiables.

En 1895 Smith creó otro importante invento, el fulminante de retardo, mediante el uso de un tramo corto de mecha entre el fulminante y el explosivo, y -- aunque la calibración de los primeros estopines de retardo tenían errores, la fragmentación de la roca con ellos era bastante superior a la de las voladu-

ras instantáneas.

Posteriormente nuevos explosivos más poderosos, pero relativamente insensibles reemplazaron al fulminato de mercurio, obteniéndose más seguridad y potencia en el fulminante, con estas novedades se pudo crear un fulminante compuesto que consiste en una carga de cebado intermedia entre la mezcla de ignición o fulminante y el explosivo o carga base, es decir la iniciación empieza en una carga intermedia sensitiva, más poderosa hasta una carga base relativamente insensible pero muy poderosa.

Los fulminantes han seguido desarrollándose en 1976 se introdujeron fulminantes de retardo no eléctricos.

Otro y último de los dispositivos de iniciación importantes es el cordón detonante, se desarrolló en 1937, propiamente es un explosivo.

#### II.1.2.- Propiedades de los explosivos.

Fundamentalmente los explosivos tienen tres aspectos :

- 1.- Es un compuesto químico que requiere para su inicio o ignición, medios como el calor, el impacto o fricción.
- 2.- Después de la ignición, reacciona rápidamente detonando.
- 3.- La detonación provoca una liberación rápida de calor y gran cantidad de gases que se expanden rápidamente con una fuerza tal que vencen a las fuerzas confinantes.

La energía creada por la detonación de explosivos causa fundamentalmente cuatro efectos :

- 1.- La fragmentación de la roca o material confinante.
- 2.- Desplazamiento de la roca o material confinante.

3.- Vibración del aire (ruido).

4.- Golpe del aire.

Estudiando el proceso de detonación y las propiedades inherentes de cada explosivo, se puede optimizar su trabajo, seleccionar el adecuado para la tarea que se le vaya a dar y mejorar o crear nuevos explosivos.

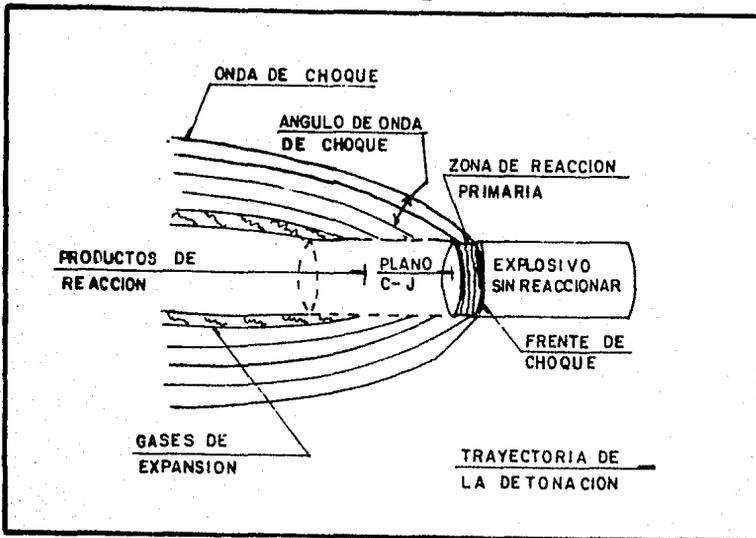
A continuación se describe el proceso de detonación y algunas de las propiedades más importantes de los explosivos como son la velocidad de detonación, densidad, presión de detonación, energía, potencia, resistencia al agua, sensibilidad, sensibilidad, humos y flamabilidad.

Proceso de detonación :

La detonación consiste en una liberación de energía que comienza con la ignición y se mantiene con una onda de choque de velocidad mayor a la del sonido del material explosivo. Si la onda de choque no es lo suficientemente rápida, es decir con una velocidad menor a la sónica del explosivo, resulta una "deflagración", que consiste en una liberación de energía rápida pero que no produce ondas de choque lo suficientemente considerables, por ejemplo, para fracturar la roca, por lo tanto todos los explosivos comerciales trabajan detonando.

La velocidad de 900 m/seg. arbitrariamente separa a la deflagración de la detonación.

La fig. II.1. muestra gráficamente una detonación, la superficie en donde empieza la ignición se denomina "zona de reacción primaria", la cual está limitada en su parte anterior por el frente de choque y en la posterior por el plano de Chapman-Jouquet (C-J). Detrás del plano C-J se encuentran gases con temperaturas de 3000 a 7000 °C y altas presiones del orden de 100 000 Kg/cm<sup>2</sup> conocidos como los productos de reacción que se expanden, creando una onda de choque, esfuerzo o impacto, la cual para el caso de barrenos se propaga en sus paredes hacia el material que está siendo volado.



**FIG. II.1 PROCESO DE DETONACION**

Velocidad de detonación :

La velocidad de detonación, es la rapidez de propagación de la onda de choque a través de la columna de un explosivo, dicha velocidad debe de ser igual o ligeramente mayor a la velocidad sónica tanto del explosivo como la del material a volar.

La velocidad de detonación depende principalmente de los siguientes factores: El tipo de explosivo, diámetro, confinamiento, temperatura y tipo de cebado.

En un explosivo de alta velocidad la zona de reacción primaria es de unos --- cuantos milímetros y la onda de choque forma ángulos pequeños con la columna del explosivo, por el contrario, en una de baja velocidad el espesor es de va rios centímetros y ángulos grandes (ver fig. II.1), esta propiedad se aplica para el ángulo deseado en voladura de rocas, ya que el comportamiento es simi lar.

Las magnitudes de las velocidades de detonación, fluctúan entre los 1525 ----

m/seg. a 6705 m/seg. en los explosivos actuales,

En general la velocidad resulta más alta cuando el diámetro del explosivo es más grande, hasta llegar a su velocidad máxima (velocidad hidrodinámica), por el contrario, si se reduce el diámetro la velocidad disminuye hasta llegar al diámetro mínimo (crítico) en el cual la detonación ya no se sostiene y se extingue.

Mientras el confinamiento sea mayor en un explosivo, más alta resultará la velocidad de detonación, por ejemplo: el diámetro crítico de un explosivo confinado en un barreno, será menor que el del mismo explosivo sin confinar. Esto se debe a que si el perímetro confinante es un medio incompresible (roca), la onda de choque tiende a conservarse junto con la presión, temperatura, --- etc. y en un medio fácilmente compresible (aire, agua, roca porosa, etc.) esta decae súbitamente al comprimir dicho medio, perdiendo energía, apoyo, etc. y por lo tanto velocidad.

La temperatura en general, si es baja, disminuye la sensibilidad de los explosivos y con ello la velocidad de detonación, sobre todo en los explosivos que contienen líquidos y en menor grado a los explosivos que son sólidos a temperaturas normales y que contienen poco o ningún líquido.

El tipo de cebado (detonadores o dispositivos de iniciación) garantiza que el explosivo alcance su velocidad máxima, siempre que se utilice el adecuado y dependiendo de las condiciones de uso. Se recomienda seguir las especificaciones del fabricante.

**Densidad :**

La densidad, peso volumétrico o gravedad específica se expresa en gramos por centímetro cúbico tomando como referencia la del agua igual a 1(g/c.c.).

La densidad de un explosivo es un factor esencial para el proyecto de una voladura ya que con esta se puede cuantificar los kilos que se pueden cargar -- por metro de barreno, así como el conocimiento de si se hundirá el explosivo en el agua.

Las altas densidades causadas por ejemplo por la presión hidrostática de barrenos profundos llenos de agua, la compactación por la onda de choque de la detonación de un barreno adyacente, etc. pueden disminuir o eliminar la sensibilidad de un explosivo, ya que llegan a su densidad crítica.

#### Presión de detonación:

La presión de detonación es la fuerza o frente de choque que comprime el área detrás del plano de Chapman-Jouquet (C-J) es muy importante ya que es la que causa el efecto de fragmentación y no de desplazar objetos, y está relacionada con el nivel de esfuerzo en el material a volar.

La presión de detonación es una función de la densidad, la velocidad de detonación, y de la velocidad de la partícula del explosivo.

Para calcular aproximadamente la presión de detonación en kilobars se usa la siguiente expresión:

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

donde :      P = Presión de detonación      (kilobars)  
                   P = densidad                              (g/c.c.)  
                   D = velocidad                            (m/seg.)

#### Energía-Potencia :

La potencia es la propiedad que tiene un explosivo para fragmentar y mover eficientemente material.

Actualmente los científicos han estudiado factores que tratan de predecir la acción de una voladura y su eficiencia, pero no lo han logrado satisfactoriamente debido a la compleja naturaleza de los materiales que son volados.

Dichos factores son prueba y cálculo de propiedades como la energía teórica y trabajo de expansión, la medida de propiedades como son el impacto bajo el agua y la energía de burbujeo, el impulso de la onda de choque, y las medidas

de la onda de esfuerzo en el material que se volará. Por lo tanto las propiedades del explosivo así como las del material a volar, influyen en la efectividad.

La energía teórica o calculada de un explosivo es la diferencia entre el calor de formación de los productos de la explosión, y el calor de formación de los ingredientes del explosivo.

Resistencia al agua :

Es el número de horas en que un explosivo puede ser cargado en agua y aún detonar. El tiempo es afectado por la profundidad del agua y el que ésta sea estática o dinámica y/o a baja o alta presión.

Sensibilidad :

La sensibilidad es una medida de la energía mínima, presión, etc. requeridas para iniciar un explosivo. Existen numerosas medidas de sensibilidad como -- son al fulminante, a pruebas de caída, de bala, de fricción, calor, etc.

La más común en la industria de los explosivos es la expresada en la potencia del fulminante que puede iniciar el explosivo.

Sensitividad o sensibilidad a la propagación :

Es la propiedad que tiene un explosivo de propagarse de un cartucho cebado -- (donador) a otro cartucho no cebado (receptor).

Algunos explosivos son tan sensibles que se propagan entre barrenos separados considerablemente, dependiendo del material a volar, tamaño de la carga, presencia de agua, etc.

Por lo tanto en general es indeseable la propagación entre cargas individuales, ya que se quiere que éstas detonen independientemente a intervalos de -- tiempo o retardos predeterminados y no instantáneamente.

**Humos :**

La naturaleza de gases, tóxicos o no, humo, vapor, etc. resultantes de una de tonación varían según la clase de explosivo.

A los gases venenosos o tóxicos se les denomina emanaciones dentro de la in--  
dustria de los explosivos, ya que pueden ser inodoros e incoloros y confundir  
se con el humo que está compuesto generalmente de vapor y de los productos só  
lidos de combustión.

Los factores que aumentan los gases tóxicos pueden ser las formulaciones defi--  
cientes, cebado inadecuado, insuficiente resistencia al agua, falta de confi--  
namiento, reacciones del producto con la roca o material que está siendo vola--  
do, reacción incompleta, etc.; por lo tanto se recomiendan períodos de espera  
antes de regresar al área de detonación.

**Flamabilidad :**

Es la propiedad con que un explosivo puede ser iniciado mediante calor.

La mayoría de las dinamitas tienen este riesgo, ya que se inician rápidamente  
y se consumen violentamente con el calor.

Los explosivos de nitrato de amonio como los hidrogeles, tienen una tendencia  
menor a convertir la combustión en una detonación, por lo tanto tienen un ma--  
yor margen de seguridad; pero aún así no se debe de olvidar que son explosi--  
vos y deben manejarse como tales.

**II.2.- TIPOS DE EXPLOSIVOS.**

- Por explosivos se entienden aquellas sustancias de poca estabilidad química,  
que son capaces de incendiarse o detonar, de producir una gran cantidad de --  
energía, la que provocará una explosión. Si esta está confinada se aprovecha  
para degradar el material que se encuentre en su alrededor. El nitrato de --  
amonio es un ingrediente esencial en casi todos los explosivos comerciales.--

A continuación se señalarán los tipos de explosivos más comunes.

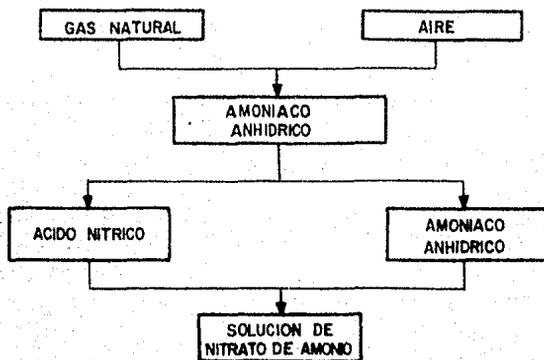
### II.2.1.- Anfo.

El uso predominante es en la forma de gránulos de nitrato de amonio, una pequeña bolita porosa mezclada con aceite combustible. Desde su introducción en 1950, los productos de Anfo han encontrado un uso extensivo en una gran variedad de aplicaciones para voladuras tales como minas de carbón de superficie, minas de metales, canteras y construcción de carreteras.

Sus limitaciones (no tiene resistencia al agua y baja densidad) se deben al mismo producto, previo a la introducción del Anfo, al sistema de voladuras.

El producto de Anfo más ampliamente usado es una mezcla de granel balanceado en oxígeno, de cerca de un 94% de gránulos de nitrato de amonio y de un 6% de aceite combustible diessel.

La producción de los granulados de nitrato de amonio es un proceso de múltiples pasos que con gran frecuencia se inicia con gas natural y aire (Ver fig. II.2.).



**FIG. II.2 PROCESO DE FABRICACION DEL ANFO**

Los granulados más apropiados para productos explosivos tienen una densidad de partícula en el rango de 1.40 a 1.50 gr/cc.

La tierra diatomácea y los surfactantes se usan para recubrir el granulado y minimizar el aglutinamiento. Demasiado recubrimiento en la superficie del granulado interferirá con la distribución del aceite y el desempeño del Anfo será afectado. Un buen granulado explosivo tiene generalmente una mínima cantidad de agente antiaglutinante, típicamente menos del 1%.

La velocidad de detonación del Anfo vaciado, depende del diámetro de barrenos y del grado de confinamiento en el cual se inicia. La velocidad de detonación aumenta, al aumentar el diámetro del barrenos. El Anfo alcanza su velocidad hidrodinámica o ideal de aproximadamente 4750 m/seg. en un barrenos de 25 cm. de diámetro. Aumentar el tamaño del barrenos más allá de este diámetro o alterar las propiedades físicas del producto de Anfo no aumentará su velocidad de detonación.

La sensibilidad del Anfo puede aumentarse al reducir el tamaño de la partícula de nitrato de amonio granulado. Sin embargo, en aplicación práctica no es confiablemente sensible, y requiere de un cebado adecuado. Para cebar el Anfo es deseable un cebo de iniciación de alta energía. La presión de detonación del cebo deberá ser mayor que la presión de detonación del Anfo.

La cantidad de aceite que es combustible carbonoso, afecta la energía teórica, velocidad, sensibilidad y emanaciones del Anfo y mezclas similares. El Anfo con cerca de un 6% de aceite en peso tiene la máxima energía teórica (900 cal/g) y más alta velocidad de detonación teórica (4750 m/s).

La cantidad de gases tóxicos producidos dependen de las condiciones bajo las cuales se use el Anfo. Demasiado aceite incrementa la producción de monóxido de carbono, por lo que un uso inadecuado puede dar como resultado un nivel peligroso de gases tóxicos.

Comercialmente los productos Anfo se venden a granel, en bolsas y encartuchados. Estos productos requieren cebos de iniciación de alta energía, o cebos de alta presión de detonación para una iniciación confiable.

## II.2.2.- Dinamitas.

La dinamita se ha desempeñado admirablemente durante los últimos 100 años como soporte de la industria de los explosivos comerciales. El principal defecto de la dinamita es su contenido de nitroglicerina, que la hace peligrosa de fabricar, transportar y usar.

La primera dinamita resultó cuando Alfredo Nobel descubrió que cantidades relativamente grandes de nitroglicerina podían ser absorbidas por la diatomita lo que las hacía más seguras de transportar y usar.

Las dinamitas modernas pueden definirse como mezclas sensibles al fulminante, las cuales contienen nitroglicerina ya sea como sensibilizador o como el principal medio para desarrollar energía, y la cual se descompone a la velocidad de detonación.

Actualmente se han desarrollado hidrogeles (water gels) para reemplazar a la dinamita, donde los requerimientos de desempeño y las condiciones no favorecen el uso de productos Anfo.

Las dinamitas se empaican en cartuchos cilíndricos, de diámetro de 7/8" y mayores, con longitudes que varían desde 8 a 24 pulgadas. Varias protecciones de papel o envolturas se usan para empacarlas y protegerlas de la humedad. El porcentaje de peso total y tipo de envoltura tienen una influencia importante en la producción de gases tóxicos, en la resistencia al agua, y en la capacidad de atacado y cargado.

Las dinamitas deben ser manejadas y almacenadas de acuerdo con los reglamentos federales, estatales y locales.

Hay tres tipos básicos de dinamitas: granulares, semigelatinas y gelatinas. La diferencia básica es que las dinamitas gelatinas y semigelatinas contienen nitro-algodón, un nitrato celuloso que se combina con la nitroglicerina para formar una gelatina cohesiva. La viscosidad de este producto depende del porcentaje de nitro-algodón. Las dinamitas granulares, por otra parte, no con-

tienen nitro-algodón y tienen una textura granulosa.

En adición a esta clasificación, las dinamitas difieren también en los materiales usados para proporcionar su principal fuente de energía. En las dinamitas "puras" la nitroglicerina es la principal fuente de energía, aumentada por la reacción de varios absorbentes activos llamados "materiales absorbentes". Los más notables entre éstos son: el nitrato de sodio y combustibles carbonosos. En las dinamitas amoniacaes, frecuentemente referidas como dinamitas "Extra", el nitrato de amonio reemplaza una gran porción de nitroglicerina para dar un producto más barato y más resistente al impacto. En las dinamitas "amoniacaes" el nitrato de amonio es la principal fuente de energía y la nitroglicerina sirve principalmente como sensibilizador.

Actualmente el conocido y antiguo cartucho de dinamita está siendo reemplazado por un nuevo explosivo hidrogel o plástico, encartuchado de diámetro pequeño; este explosivo es el que se utilizó en la demolición de los edificios tratados en este trabajo y que se detallan en la siguiente sección.

Debido a las ventajas de este explosivo plástico es obvio que la dinamita --- pronto será obsoleta para todos los usos, con excepción de muy pocos usos especializados.

### II.2.3.- Hidrogeles (Water gels).

A fines de la década de los sesentas se desarrolló un sensibilizador, en el cual se podía confiar para proporcionar una detonación en barrenos tan pequeños como una pulgada de diámetro, con lo que se eliminó a la nitroglicerina como ingrediente básico en explosivos encartuchados de diámetro pequeño. A la nueva línea en explosivos se les denominó "Hidrogeles" (water gels), los cuales tienen un desempeño igual o mejor que el de la dinamita.

Para poder llevar a cabo la comercialización de este nuevo producto se realizó un extensivo trabajo de investigación y pruebas de campo para obtener los mejores resultados posibles. Entre las numerosas ventajas de los Hidrogeles las más importantes son: mayor control de la densidad del barreno, flexibilidad mejorada en la carga, fragmentación excelente, peligro de propagación de

tienen nitro-algodón y tienen una textura granulosa.

En adición a esta clasificación, las dinamitas difieren también en los materiales usados para proporcionar su principal fuente de energía. En las dinamitas "puras" la nitroglicerina es la principal fuente de energía, aumentada por la reacción de varios absorbentes activos llamados "materiales absorbentes". Los más notables entre éstos son: el nitrato de sodio y combustibles carbonosos. En las dinamitas amoniacales, frecuentemente referidas como dinamitas "Extra", el nitrato de amonio reemplaza una gran porción de nitroglicerina para dar un producto más barato y más resistente al impacto. En las dinamitas "amoniacales" el nitrato de amonio es la principal fuente de energía y la nitroglicerina sirve principalmente como sensibilizador.

Actualmente el conocido y antiguo cartucho de dinamita está siendo reemplazado por un nuevo explosivo hidrogel o plástico, encartuchado de diámetro pequeño; este explosivo es el que se utilizó en la demolición de los edificios tratados en este trabajo y que se detallan en la siguiente sección.

Debido a las ventajas de este explosivo plástico es obvio que la dinamita --- pronto será obsoleta para todos los usos, con excepción de muy pocos usos especializados.

### II.2.3.- Hidrogeles (Water gels).

A fines de la década de los sesentas se desarrolló un sensibilizador, en el cual se podía confiar para proporcionar una detonación en barrenos tan pequeños como una pulgada de diámetro, con lo que se eliminó a la nitroglicerina como ingrediente básico en explosivos encartuchados de diámetro pequeño. A la nueva línea en explosivos se les denominó "Hidrogeles" (water gels), los cuales tienen un desempeño igual o mejor que el de la dinamita.

Para poder llevar a cabo la comercialización de este nuevo producto se realizó un extensivo trabajo de investigación y pruebas de campo para obtener los mejores resultados posibles. Entre las numerosas ventajas de los Hidrogeles las más importantes son: mayor control de la densidad del barreno, flexibilidad mejorada en la carga, fragmentación excelente, peligro de propagación de

barreno a barreno minimizado, reducción de humo y de gases tóxicos, eliminación de los dolores de cabeza producidos por la nitroglicerina.

Los Hidrogeles consisten en sales oxidantes, combustibles y sensibilizadores, disueltos o dispersos en una fase líquida continua. La mezcla es inmediatamente espesada y hecha resistente al agua mediante la adición de gelatinizados y agentes de cruce-eslabonado. Las sales oxidantes son usualmente seleccionadas del nitrato de amonio, nitrato de sodio y nitrato de calcio.

Además de la mejoría en la seguridad, algunas propiedades importantes son: --energía, densidad, velocidad, sensibilidad y resistencia al agua.

La energía contenida por un explosivo determina la cantidad de trabajo que es capaz de realizar. La energía es expresada en términos de calorías/gramo; para los hidrogeles la energía disponible para consumo directo en voladuras, varía cerca de 700 cal/gr. hasta 1460 cal./gr.

La densidad de los hidrogeles fluctúan desde cerca de 0.80 g/cc. hasta 1.60 gr/c.c.; en la mayoría de las gelatinas tienen una densidad de entre 1.10 ---gr/c.c. y 1.35 gr/c.c.

La velocidad de detonación de la mayoría de los hidrogeles se incrementa cuando su diámetro y grado de confinamiento aumenta. En la tabla II.1. se muestran las propiedades físicas nominales de varios grados de hidrogeles de la marca Du Pont.

Lo ideal de un material explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos de iniciación e insensible a la iniciación accidental. Una de las ventajas de los hidrogeles es que son confiablemente sensibles a los métodos de cebado convencionales y significativamente más resistentes que la dinamita a la iniciación accidental debido a abusos de impacto, choque o fuego.

La resistencia al agua de los hidrogeles es generalmente excelente, pero a semejanza de la dinamita, esta resistencia puede ser significativamente dismi--nuida si el producto no es usado en la forma adecuada. Cuando está empacado, su resistencia al agua es igual o superior a la dinamita/gelatina.

HIDROGELES (Water Gels) DE DU PONT

PRODUCTO DE DU PONT	DIAMETRO (PULGADAS)	DENSIDAD (GRAMOS/C.C)	VELOCIDAD		RESISTENCIA AL AGUA*	SENSIBILIDAD** AL FULMINANTE
			PIES/SEG	METROS/SEG		
TOVEX 90	1-1 1/2	0.90	14 100	4 300	BUENA	SI
TOVEX 100	1-1 3/4	1.10	14 760	4 500	EXCELENTE	SI
TOVEX 200	1-1 3/4	1.10	15 750	4 800	EXCELENTE	SI
TOVEX 300	1-1 1/2	1.02	11 150	3 400***	BUENA	SI
TOVEX 500	1 3/4 - 4	1.23	14 100	4 300	EXCELENTE	NO
TOVEX 650	1 3/4 - 4	1.33	14 750	4 500	EXCELENTE	NO
TOVEX 700	1 3/4 - 4	1.20	15 750	4 800	EXCELENTE	SI
TOVEX 800	1 3/4 - 4	1.20	15 750	4 800	EXCELENTE	SI
TOVEX T-1	1	0.23 lb/ple	22 000	6 700	BUENA	SI
TOVEX P	2 - 4	1.10	15 750	4 800	EXCELENTE	SI
TOVEX S	2 1/4 - 2 1/2	1.38	15 700	4 800	EXCELENTE	SI
TOVEX C	EN BOLSAS				EXCELENTE	SI
TOVEX EXTRA	4-8	1.33	16 800	5 700	EXCELENTE	NO
POURVEX EXTRA	3 1/2 O MAS VACIADO	1.33	16 000	4 900	EXCELENTE	NO
DRIVEX	1 1/2 O MAS BOMBEADO	1.25	17 300	5 300	EXCELENTE	NO

\* LA RESISTENCIA AL AGUA VARIA CON LA CABEZA DE AGUA

\*\* LA SENSIBILIDAD AL FULMINANTE VARIA CON LA TEMPERATURA

\*\*\* NO CONFINADOS; TODOS LOS DEMAS CONFINADOS

TABLA II.1.

Se utiliza equipo sofisticado para empacar los Hidrogeles en cartuchos tan pequeños como de una pulgada de diámetro. La textura final es flexible pero firme; en el mercado nacional existe una marca conocida como "TOVEX", en donde se presentan con diferentes tipos de empaques los cartuchos de este explosivo. La elección del empaque y de su grosor para productos individuales está basada en las condiciones de carga que el producto encontrará en la aplicación de campo.

A continuación se describen de manera general los diferentes tipos de Hidrogeles de la marca "TOVEX" que se pueden encontrar en el mercado nacional:

- Hidrogel en cartucho "TOVEX" 90. Son sensibles al fulminante ordinario o estopín eléctrico; tiene una densidad de 0.90 gr/c.c. para ser usado en minería bajo tierra donde una carga ligera es suficiente para romper la roca, es fabricado en diámetros de 25 mm. (1") a 38 mm. (1½"), con longitudes estándar de 300 a 400 mm.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX" 100. Este Hidrogel de diámetro pequeño fue el que se utilizó en las demoliciones de los edificios descritos en este trabajo. Su diámetro va desde 25 mm (1") a 50 mm (2"), la densidad es de 1.10 gr/c.c. y tiene velocidades de detonación de 4000 m/seg. a 4910 m/seg dependiendo de su diámetro. Se fabrican en longitudes estándar de 300 --- a 400 mm. Su resistencia al agua es superior a la de las dinamitas gelatinas y semigelatinas estándar. Los gases que disipa a su detonación son mínimos y no tóxicos. Su energía es de 8000 cal/gr., que se puede comparar con la de las dinamitas como se indica en la fig. II.3.

Para las características de ruptura del material de la envoltura, para introducir el detonador dentro del cartucho, se recomienda hacer la perforación en un extremo frontal junto al cierre metálico. No se recomienda perforar lateralmente el cartucho. Es indispensable asegurar que en el manejo del cartucho cebado, el detonador no se salga del cartucho. Este tipo de Hidrogel se ceba y se carga de manera similar a las dinamitas.

Su facilidad de compactación proporciona el máximo acoplamiento al barreno y a la máxima densidad de carga. Basta un leve empuje del atacador para llenar el barreno. Tiene excelente plasticidad y adherencia.

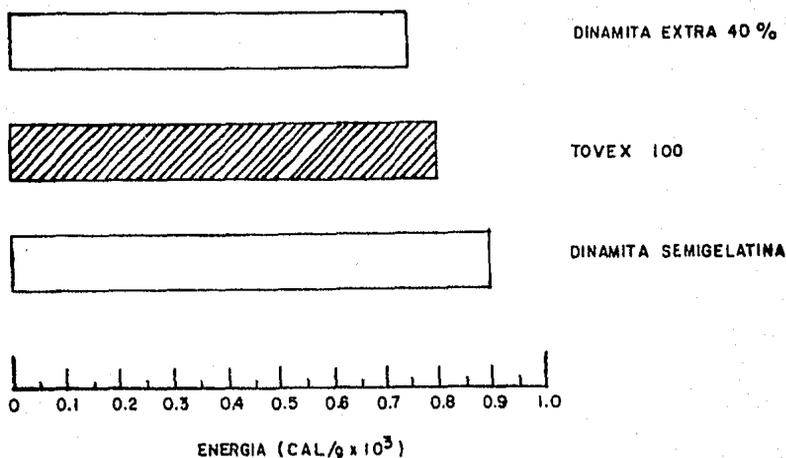


FIG. II.3

Este Hidrogel está diseñado para minimizar la propagación entre barrenos, por lo que todo sistema de retardo para aumentar la fragmentación y para reducir la vibración funciona apropiadamente.

- Hidrogel encartuchado "TOVEX" 200. Con su aditivo de aluminio es usado en el volado de roca dura, donde el desplazamiento de la rezaga es esencial para un buen desempeño.
- Hidrogel encartuchado "Tovex" 300. Está diseñado para el uso en minas de carbón subterráneas y funciona bien para cortes y voladuras de sólidos.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX" 500. No es sensible al fulminante; es de potencia media, y se usa en canteras y construcciones. Se fabrica en diámetros de 44 mm (1 3/4") a 100 mm. (4"), en una longitud estándar de 400 mm. con densidad de 1.23 gr/c.c.
- Hidrogel encartuchado "Tovex" 650. No es sensible al fulminante; es de alta potencia, con densidad de 1.35 gr/c.c., está diseñado para dar la mejor fragmentación y el mayor desplazamiento en la mayoría de las formaciones de roca.

- Hidrogel encartuchado "TOVEX" 700. Es sensible al fulminante de densidad, velocidad de detonación y energía media, diseñado para ser usado en cante-  
ras y construcciones.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX" 800. Es sensible al fulminante; es de alta  
energía, densidad y velocidad media, diseñado para las condiciones de vola-  
dura más difíciles.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX" T-1. Es largo y tubular, de diámetro peque-  
ño, usado para pre-corte en la minería y construcción. Se fabrica en un -  
solo tamaño y se produce en rollos largos para usarse más fácil como car-  
gas unitarias en los barrenos.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX" Primer. Es sensible al fulminante; es de al  
ta energía diseñado para el cebado del ANFO.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX" C. Está diseñado para voladuras de canal o  
voladura secundaria, está empacado en una envoltura moldeable y se ajusta  
bien a la roca que va a ser volada.
- Hidrogel encartuchado "TOVEX Extra". Es de alta densidad, alta velocidad  
y resistencia al agua, diseñado para voladuras en condiciones muy difíci-  
les. No es sensible al fulminante.
- Hidrogel "POURVEX" Extra. No es sensible al fulminante, puede ser bombea-  
do o vaciado dentro de los barrenos de diámetro grande. Se desempeña par-  
ticularmente bien donde la roca o el mineral es macizo y tiene una alta ve-  
locidad sónica.
- Hidrogel "DRIVEX". Puede ser bombeado dentro de barrenos verticales o de  
declive descendente de diámetro tan pequeño como de 38 mm. (1½"). Se empa-  
ca en tubos de plástico duro de 175 mm. (7") de diámetro.

**En resumen se puede decir que hay hidrogeles en varias potencias, densidades, velocidades y tamaños para las necesidades de demolición de bancos de roca u otras aplicaciones, como es la demolición de edificios con el sistema de ex-  
plosivos que se tratan en este escrito, que se presenten en cualquier obra de**

ingeniería.

### II.3.- DISPOSITIVOS DE INICIACION.

El éxito de una voladura depende en gran parte de una buena elección y manejo de los dispositivos de iniciación para detonar las cargas del explosivo.

El dispositivo de iniciación o detonador, es un poderoso explosivo sensible - que detona dentro del explosivo base poco sensible pero más poderoso, provocándole su iniciación y una detonación con el máximo de energía posible y potencia a causa de la onda de choque y calor de la primera detonación.

Dado que los dispositivos de iniciación están hechos para explotar, se les deberá de dar el mismo trato que el de un explosivo, e inclusive no exponerlos a fuentes de energía eléctrica.

Los dispositivos de iniciación se dividen en dos tipos, de acuerdo a la energía que utilizan, los eléctricos y los no eléctricos.

Eléctricos (Estopines)	Instantáneos.
	De retardo Corto
	De retardo Largo.
	Especiales.
	Sismográficos.
No Eléctricos. (Fulminantes).	Fulminantes.
	Mecha de Seguridad.
	Cordón Detonante.
	Accesorios.

#### II.3.1.- Dispositivos de Iniciación Eléctricos.

En la actualidad el detonador de más uso es el estopín eléctrico, ya que tiene las ventajas de efectuar la voladura con una máquina explosora que provee la energía eléctrica lejos del área de la voladura en un lugar seguro y con -

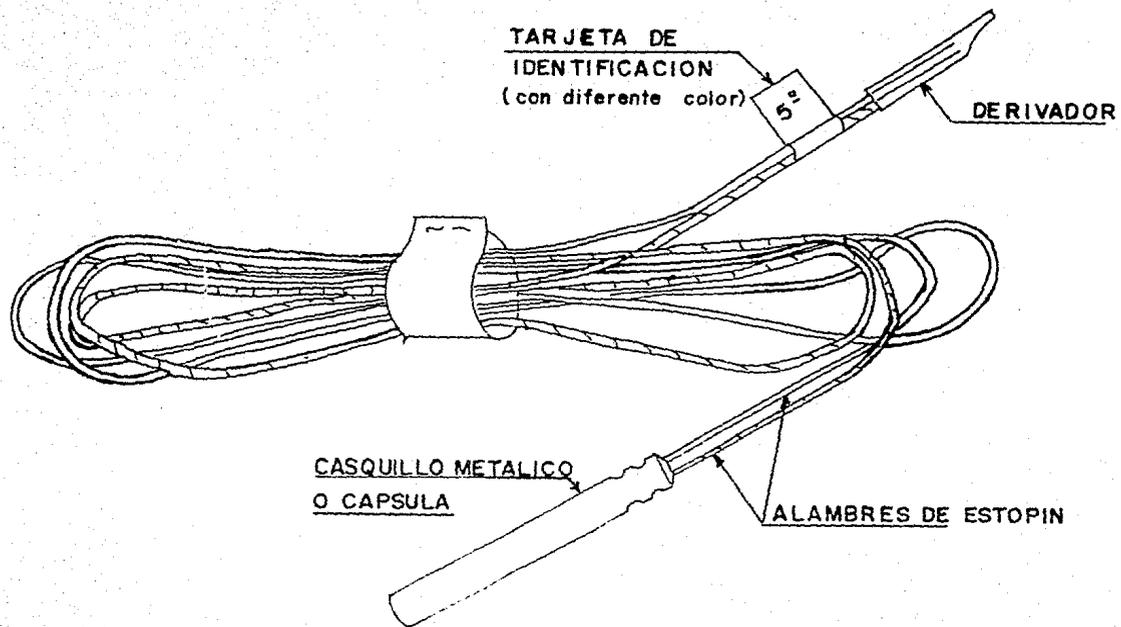


FIG II . 4 ESTOPIN ELECTRICO

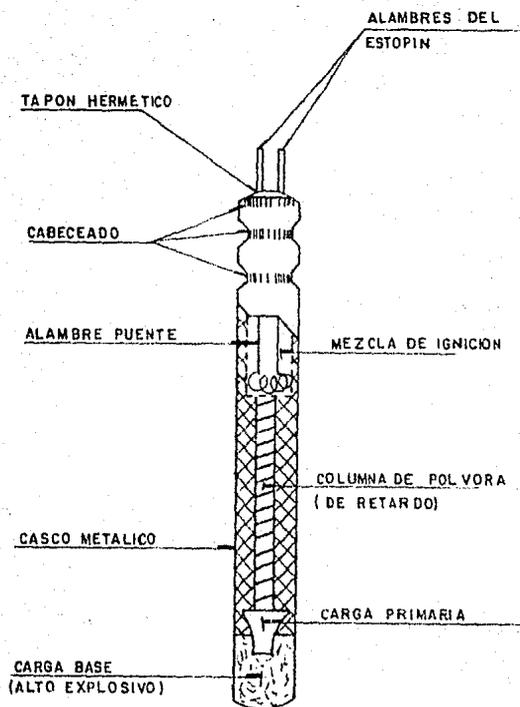


FIG. II.5 CASCO METALICO DEL ESTOPIN ELECTRICO

un número considerable de estopines conectados en circuitos bien diseñados, - además de que éstos pueden ser instantáneos, de retardo, de diferente potencia, muy rápidos con tiempo de ruptura, especiales para resistir altas temperaturas, etc. y por lo tanto tienen aplicaciones diversas.

Las partes básicas del estopín eléctrico son el casco metálico, los alambres del estopín, el derivador y tarjetas de identificación. (fig. II.4.).

La parte principal es el casco metálico cilíndrico (fig. II.5.) que tiene en su extremo abierto un tapón hermético, inclusive al agua, de plástico que da paso y fija los dos alambres del estopín, los cuales se unen en el interior por medio de un alambre corto de alta resistencia denominado "alambre-puente" que está incorporado a una mezcla de ignición, la que es iniciada por el calor inducido por la corriente eléctrica que llega a través del circuito. En el caso de un estopín eléctrico instantáneo, una vez que la mezcla de ignición tiene iniciación, éste provoca la detonación de la carga primaria o de iniciación y ésta a su vez la detonación de la carga base constituida de un alto explosivo. Para el caso de un estopín eléctrico de retardo, la mezcla de ignición primero inicia una columna de pólvora de retardo que tarda en consumir un tiempo determinado, antes de iniciar la carga primaria, la duración del intervalo de tiempo entre la aplicación de la energía eléctrica y la detonación del estopín, dependen de la longitud de la columna de pólvora y la proporción de su consumo. Los casquillos pueden ser de aluminio o bronce.

Los alambres de los estopines eléctricos son conductores sólidos de cobre o - hierro aislados con un recubrimiento plástico que también les añade resistencia y flexibilidad. Dicho recubrimiento tiene colores brillantes con el objeto de tener una alta visibilidad y fácil identificación.

En general los alambres de los estopines se presentan enrollados formando un ocho, asegurado con una banda de papel.

El par de alambres del estopín tiene sus extremos libres sin recubrimiento, - pero están protegidos con un derivador para que no pase ninguna corriente --- eléctrica no deseada al circuito del alambre puente, el derivador consiste en una lámina de aluminio con recubrimiento de celofán que envuelve a los dos --

alambres del estopín en corto circuito en toda la longitud descubierta, sirviendo de aislador. El derivador se retira fácilmente ahorrando tiempo en las conexiones del circuito de la voladura.

Los estopines tienen diferentes cantidades de carga base y por lo tanto diferentes potencias.

En la actualidad se han creado series de retardo de estopines con secuencias de tiempo para diferentes necesidades. Ya que cada estopín, dentro de una serie de retardos, tiene diferente intervalo de tiempo, se les asigna un número de período para especificarlos junto con una tarjeta de identificación numerada y con su respectivo color. Los estopines eléctricos se pueden conseguir con retardos de tiempo que van desde unos pocos milisegundos hasta 15 segundos.

Por lo general los fabricantes tienen dos series diferentes de estopines eléctricos de retardo, las primeras son de intervalos cortos con retardos de milisegundos y la segunda de intervalos largos de segundos, tienen diferentes aplicaciones pero con ellas se mejora la fragmentación y desplazamiento de la roca, control de vibración, ruido; se reduce la dosificación de carga y costos de una voladura.

Se describirán brevemente las diferentes series y su uso, a excepción de las de segundos que son las idóneas para la demolición de edificios que se describirán con mayor detalle.

La serie de retardos para minas de carbón tiene 10 períodos que van de 25 milisegundos a 1 segundo, sus cascos metálicos son de bronce y con alambres de hierro y para su manejo deben seguirse las especificaciones del Departamento de Minas.

Las series de retardos cortos tienen 11 períodos que van de 25 a 350 milisegundos. Estos estopines de corto período de retardo moverán la roca más lejos del frente, que la serie de estopines de retardo largo, debido a la interacción entre barrenos adyacentes.

Existen estopines instantáneos estándar, también los hay instantáneos espe---

ciales resistentes a altas temperaturas.

Hay estopines sismográficos, instantáneos de rápido funcionamiento, que detonan en menos de medio milisegundo, después de la descarga eléctrica aplicada. Esto es muy importante en trabajos sismográficos, ya que la señal eléctrica que marca el inicio del registro sísmico, debe ser la misma que origina la detonación, esta igualación de tiempos se denomina tiempo de ruptura.

Estopines eléctricos con la serie de retardos largos:

La serie de retardos largos, tiene duraciones de tiempo nominales de 25 milisegundos para el período cero y hasta 7.4 segundos para el último período de retardo. Estos intervalos de retardo entre estopines están proyectados para disparar en secuencia exacta con suficiente tiempo entre períodos para permitir el movimiento de roca. El intervalo de tiempo entre retardos ha sido diseñado para prevenir la sobreposición de éstos y dar mejores resultados en la voladura.

Estos estopines de largo período se utilizan principalmente en minería bajo tierra, contra pozos, profundización de tiros, proyectos de drenaje, etc. y como ya se había dicho para la demolición de edificios por su exactitud y por la diferencia a intervalos de tiempo de  $\frac{1}{2}$  seg. aproximadamente entre una y otra o varias columnas contiguas, logrando la fragmentación de los sistemas de piso, por el acortamiento o desintegración súbita de una columna con respecto a las contiguas. Lo contrario pasaría si se usaran series de período corto o estopines instantáneos en los que al detonar casi simultáneamente todas las columnas, los sistemas de piso caerían enteros sobre puestos uno encima de otro.

Estos estopines se fabrican con casquillos metálicos de aluminio y están disponibles con alambres de cobre para uso general, o de hierro para minas que no permitan la contaminación de cobre o con diferentes longitudes. Los alambres son de colores, uno amarillo y uno azul o uno rojo y uno verde.

Una etiqueta de color diferente para cada período, pegada cerca del extremo del derivador, muestra tanto el número de secuencia del retardo como el núme

ro de período. Las siguientes tablas II.2. y II.3. enlistan los tiempos nominales de cada período de retardo de fabricación nacional y extranjera, respectivamente.

TABLA II-2

Series de Retardo Largo (Acudet) Nacionales.

PERIODO DE RETARDO	TIEMPO DE RETARDO NOMINAL (MILISEGUNDOS)	COLOR DE LA TARJETA DE RETARDO
0	25	Blanca
1	500	Púrpura
2	1,000	Roja
3	1,500	Azul
4	2,200	Blanca
5	3,000	Verde
6	3,800	Naranja
7	4,600	Blanca
8	5,500	Negra
9	6,400	Blanca
10	7,400	Café

TABLA II-3

Series de Retardo Largo (Time=master) Extranjeros.

PERIODO DE RETARDO	TIEMPO DE RETARDO NOMINAL (MILISEGUNDOS)	COLOR DE LA TARJETA DE RETARDO
0	0	Blanco
1	500	Blanco y Negro
2	1,000	Verde
3	1,500	Morado
4	2,000	Azul Marino
5	2,500	Roja
6	3,000	Púrpura
7	3,500	Morado y Blanco
8	4,000	Amarillo
9	4,500	Naranja
10	5,000	Blanco y Verde
11	5,500	Morado y Negro
12	6,000	Verde y Blanco
13	6,500	Amarillo y Negro
14	7,000	Café y Blanco
15	7,500	Blanco y Azul

## II.4.- METODOS Y TECNICAS DE VOLADURAS.

### II.4.1.- Disparo con fulminante y mecha.

La mecha es un medio para transmitir el fuego a un fulminante o a una carga explosiva a una velocidad continua y uniforme de 18.29 m/seg aproximadamente. Consiste en un núcleo de pólvora negra elaborada especialmente para este propósito, cubierto y protegido por varias capas de materiales textiles e impermeabilizantes.

Cuando arde la mecha, el fuego queda encerrado dentro de su estructura y sólo brotan, en cada extremo, en la forma de pequeños chorros de fuego el flamazo inicial y final. Las características del flamazo final no tienen importancia alguna para el usuario, ya que siempre ocurre dentro del fulminante y en contacto con la carga explosiva del mismo. El flamazo inicial sí es de importancia, pues comprueba al usuario que el núcleo de pólvora ha sido encendido y que la mecha está ardiendo.

La velocidad de combustión y la sensibilidad del núcleo de pólvora negra de la mecha de seguridad puede ser afectado por varios contaminantes (aceite, gasolina, solventes, pinturas, etc.) absorbidos directamente a través de la cubierta de la mecha; por esto los materiales textiles e impermeabilizantes que rodean y protegen el núcleo de pólvora, le proporcionan una excelente protección contra la abrasión, el maltrato o la contaminación por humedad.

En general las recomendaciones que se deben de seguir para tener un buen resultado en una voladura con mechas y fulminante son: proporcionar ventilación adecuada, evitar humedad, evitar el calor excesivo, calentar la mecha antes de usarla y evitar el contacto con aceites y disolventes.

Para llevar a cabo el ensamble del fulminante y la mecha se debe de usar únicamente mecha que esté en buenas condiciones, que ésta tenga las puntas secas, cortar la mecha con herramienta que tenga un buen filo; todos los cortes deberán estar limpios y en escuadra (Ver fig. II.6.).

Además nunca utilizar mechas cortas, buscar la longitud uniforme de éstas y tener un manejo apropiado con mucha precaución.

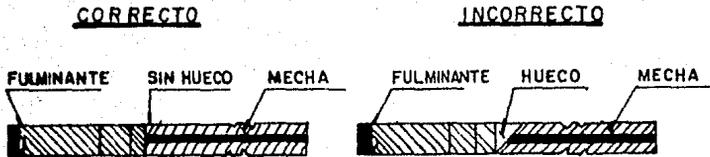


FIG. II.6 CORTE ADECUADO EN MECHAS

La única forma positiva recomendada para encender mecha, es por medio de una flama intensamente caliente como la que producen los encendedores de varilla candente, cerillos y conector "ignitarcord" y con lámpara de carburo.

Por ningún motivo debe intentarse encender mechas con dispositivos improvisados e inadecuados como sopletes, encendedores de cigarras, puros, pipas, etc.

La mecha de seguridad es adecuada para encender disparos sencillos y disparos múltiples en rotación, pero no para encender cargas que deban detonar instantáneamente o a intervalos de retardo cortos, debido a que la velocidad de combustión de la mecha no es lo suficientemente precisa.

Por la consideración señalada cuando se encienden más de un amarre de mecha y fulminante, es necesario terminar de prender las mechas y alcanzar un área segura antes de que las cargas empiecen a detonar. Esto solo puede llevarse a cabo mediante el uso de cordón encendedor.

#### II.4.2.- Disparo con cordón detonante.

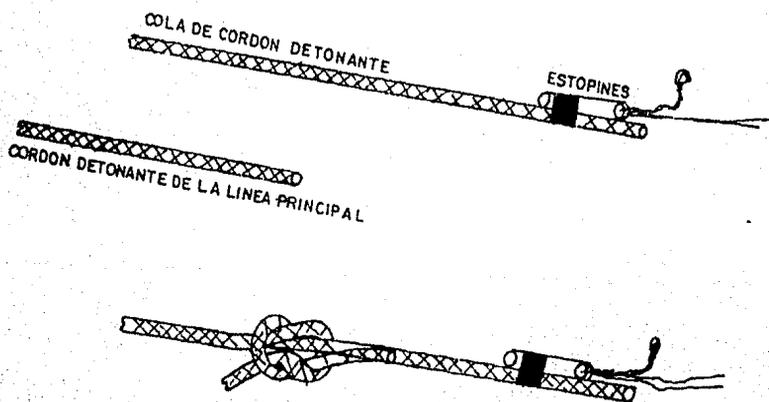
El cordón detonante es un tubo flexible que contiene un núcleo central de un explosivo de alta velocidad sensible al fulminante, que se usa para: detonar otro alto explosivo con el que éste entra en contacto y para transmitir una onda de detonación de cordón detonante a cordón detonante o a un detonador no eléctrico de retardo.

Las diversas combinaciones de envolturas textiles y plásticas proporcionan la resistencia de tensión del cordón y la resistencia al agua. El cordón detona a 6700 m/seg. y son relativamente sensibles a la detonación accidental.

El cordón detonante es fácil de conectar en una voladura. La mayoría de los cordones detonantes disparan entre secciones empalmadas o unidas con seguridad y firmeza, mediante nudos apropiados.

En los edificios demolidos con explosivos que se analizan en este escrito, se utilizó el cordón detonante para fragmentar muros de concreto ligados a las columnas, mediante la utilización de estopines eléctricos de retardo.

Los estopines de corto intervalo de tiempo se conectan como se indica en la fig. II.7. de tal manera que detona primeramente el cordón, con lo que desliza a el muro de concreto de la columna para permitir la voladura de ésta en un intervalo de tiempo con diferencia de milisegundos, por lo que se logra una buena fragmentación.



**FIG. II.7 FIJACION DE CORDON DETONANTE Y ESTOPINES**

#### II.4.3.- Técnica del Disparo eléctrico.

Este tipo de voladura fue la que se utilizó para llevar a cabo la demolición de los edificios aquí tratados, por eso es necesario dar una descripción detallada de este método moderno de demolición o implosión, la que aquí se presenta.

La voladura eléctrica, con estopines de retardo y reguladores de tiempo electrónicos, ha hecho posible el disparo seguro de un gran número de cargas en una secuencia prediseñada desde un lugar remoto y seguro, con control preciso sobre el tiempo de disparo.

El éxito de una voladura eléctrica depende de cuatro principios generales:

- 1.- Selección y trazado apropiados del (os) circuito (s) de voladura.
- 2.- Una fuente adecuada de energía compatible con el tipo de circuito de voladura seleccionado.
- 3.- El reconocimiento y la eliminación de todos los riesgos eléctricos.
- 4.- Balanceo de circuito (s), buenas conexiones eléctricas y prueba del circuito terminado.

La selección del circuito dependerá del número de estopines eléctricos a ser disparados y el tipo de operación. En general, un circuito de serie simple es usado en voladuras pequeñas consistentes en menos de 50 estopines eléctricos. Un circuito de serie en paralelo es usado cuando un gran número de estopines eléctricos está implicado.

En casi cada aplicación, las máquinas para voladura por descarga del condensador ofrecen la fuente de energía eléctrica más segura, confiable y económica para voladuras.

Las conexiones eléctricas deberán ser muy ajustadas, limpias y estar aisladas del suelo. Se debe tener cuidado para evitar que los alambres del detonador se luyan o se pelen, ya sea en el barreno o en la superficie. Las líneas de guía deberán ser inspeccionadas y probadas con anterioridad a cada voladura.

La resistencia de todos los circuitos deberá calcularse y deberá usarse un -- Multímetro o un Ohmetro para voladuras y verificar los cálculos. Ningún intento debe hacerse para disparar la voladura hasta que los cálculos teóricos y las lecturas de prueba sean las mismas. En resumen, es absolutamente necesario un cuidado extremo al alambrear y probar el circuito para evitar fallas de disparos.

El éxito de la iniciación simultánea de un gran número de estopines eléctricos requiere la entrada de suficiente corriente a todos los estopines en unos pocos milisegundos. El tiempo requerido para calentar el alambre-puente en un estopín eléctrico a la temperatura que provoque la combustión de la carga de ignición está en función de la intensidad de la corriente.

El alambre-puente en los estopines comerciales domésticos es de aproximadamente 0.05 mm. y requiere de 1.5 amperes para una iniciación confiable. La importancia de transmitir suficiente corriente a todos los estopines del circuito en pocos milisegundos es considerable, ya que de no ser así niveles de corriente baja, las ligeras diferencias de un estopín a otro pueden resultar en variaciones en cuanto a tiempos de iniciación. En una serie esto puede resultar en la detonación de un estopín con anterioridad a la iniciación de todos los demás, y da como resultado el que fallen uno o más.

Una recomendación muy importante es la de no utilizar estopines eléctricos de diferentes fabricantes en una voladura.

La eliminación de riesgos eléctricos debe ser la primera consideración antes de empezar a cargar cualquier voladura.

La energía eléctrica no deseada que puede entrar en un circuito de voladura debe mantenerse a niveles seguros o excluirse por completo. Si no se hace, dicha energía puede causar detonaciones prematuras ya sea que se trate de un sistema de voladura eléctrico o uno no eléctrico. Por esta razón, deberán -- realizarse evaluaciones completas de la electricidad extraña en los sitios de voladura antes de que cualquier explosivo se lleve dentro del área.

Los peligros de la electricidad incluyen: corrientes erráticas desviadas, debido a equipo eléctrico deficientemente aislado, rayos y electricidad estáti-

ca de tormentas eléctricas, alta energía de radiofrecuencia cerca de transmisores, corrientes inducidas, electricidad estática generada por tormentas de polvo impulsadas por el viento y corrientes galvánicas generadas por metales diferentes haciendo contacto o separados por un material conductor.

El nivel seguro aceptable de electricidad extraña para voladuras eléctricas se deriva de la corriente requerida para detonar estopines eléctricos. La corriente mínima para encender estopines eléctricos comerciales actualmente fabricados en el país es de 0.25 amperes (250 miliamperes) aproximadamente. El Instituto de Fabricantes de Explosivos (I.F.E), establece que no deben efectuarse voladuras eléctricas en áreas donde las corrientes extrañas sean mayores de 0.05 amperes (50 miliamperes). Cuando las corrientes extrañas medidas en el Multímetro exceden de este valor debe descubrirse la fuente de la corriente y eliminarse antes de usar con seguridad los estopines.

Los alambres guía no deberán ser tendidos hasta que el circuito de voladura esté completamente alambrado y todo el personal no necesario sea llevado a un lugar seguro. Después de que la línea guía se tiende, deberá ser revisada eléctricamente con un multímetro u Ohmetro para voladuras y verificar la continuidad del circuito. La resistencia calculada del circuito debe siempre concordar con las lecturas en el instrumento.

Nunca debe permitirse que los extremos desnudos del circuito o de la línea guía entren en contacto con el suelo o cualquier objeto metálico.

Las líneas de guía o líneas de encendido son una parte esencial del circuito de voladura y deberán ser inspeccionadas, probadas y conservadas en buen estado para asegurar una voladura exitosa. Se recomienda alambre de cobre de núcleo sólido, bien aislado de calibre 10 a 14.

El alambre de conexión es generalmente un alambre de cobre de calibre 16 a calibre 20 con aislante plástico usado para conectar entre barrenos; nunca se debe volver a usar el mismo alambre de conexión. Un multímetro, un ohmetro o un galvanómetro para voladuras puede usarse para probar la continuidad y resistencia de los circuitos de voladura.

Al llevar a cabo la preparación de una voladura es recomendable verificar las

siguientes recomendaciones:

- Tener cuidado cuando se carguen los barrenos para reducir el riesgo de que el aislante se raspe.
- Asegurarse de que ninguna conexión toque el suelo.
- Evitar el uso de empalmes en el barreno.
- Usar una máquina explosora para voladura con capacidad de disparar un gran número de estopines.
- Mantener lo más bajo posible el número máximo de estopines que la máquina explosora es capaz de disparar en condiciones de campo normales.
- Usar líneas de encendido de calibre más grueso para proporcionar más energía al circuito de voladura.

#### Diseño y Análisis del Circuito de Voladura.

Las máquinas explosoras por descarga del condensador, cuando se usan apropiadamente, son el medio más seguro de disparar estopines eléctricos. Con cualquier fuente de energía es esencial que se proporcione energía suficiente para iniciar todos los estopines en unos pocos milisegundos.

Cuando se dispara mediante líneas de fuerza eléctrica, los cálculos requeridos para proporcionar corriente suficiente a cada estopín en el circuito se hacen mediante la aplicación de los principios básicos de las Leyes de Ohm y Kirchhoff.

LEY DE OHM.- El flujo de corriente en un circuito eléctrico es igual al voltaje aplicado dividido entre la resistencia.

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

donde:

I = corriente en amperes.

V = voltaje aplicado en volts.

R = resistencia en Ohms.

Esto también puede ser expresado como sigue:

$$V = I \times R \quad \text{ó} \quad R = \frac{V}{I}$$

LEY DE KIRCHHOFF.- La suma algebraica de todos los voltajes aplicados y las diferencias de potencial en cualquier circuito cerrado es igual a cero.

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

La suma algebraica de todas las corrientes que fluyen a cualquier punto en un circuito es igual a cero.

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

- Resistencia de un circuito en serie (ohms).

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

- Resistencia de un circuito en Paralelo (ohms).

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

ó

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

- Potencia eléctrica (watts).

$$P = I \times V$$

$$P = I^2 \times R$$

- Energía eléctrica (watts · seg ó joules).

$$E = P \times t$$

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

$$E = I^2 \times R \times t \quad t = \text{tiempo de aplicación en segs.}$$

### Circuitos en serie.

Un circuito en serie proporciona un solo sendero para que pase la corriente a través de todos los estopines. En la Fig. II.8 se muestra un ejemplo de circuitos en serie típicos.

La resistencia total de un circuito en serie es igual a la resistencia de cada estopín más la resistencia de la línea de encendido y del alambre de conexión.

La aguja en el instrumento de voladura (Ohmetro) deberá ajustarse a "cero" cuando se ponga en corto circuito entre las terminales. Las terminales se conectan entonces a la línea del encendido. El instrumento debe dar una lectura aproximada a la calculada.

Una lectura demasiado baja indica que algunos estopines no están conectados al circuito; una lectura demasiado alta indica demasiados estopines en la serie o bien conexiones sueltas o deficientes.

Es necesario proporcionar una corriente mínima de 1.5 amperes a cada serie para asegurar que todos los estopines reciban suficiente energía antes de romperse el circuito con la detonación del primer estopín.

### Series en paralelo.

El circuito de series en paralelo es el tipo de conexión más comúnmente usado en voladuras. El circuito más sencillo de series en paralelo se hace al dividir una serie sencilla en dos series como se muestra en la Fig. II.9, donde se señala, cada una de las dos hileras de estopines eléctricos, está conectada en una serie recta. Los dos extremos libres de cada serie se conectan entre sí y a su vez son conectados a la línea de encendido.

La principal ventaja del circuito de series en paralelo es el gran número de estopines que pueden dispararse con una máquina explosora sin requerir una gran entrada de voltaje. Un acoplamiento de cinco series en paralelo balanceadas se muestran en la Fig. II.10. Este tipo de circuitos fue el que se utilizó para realizar las demoliciones de edificios aquí tratados.

Cuando la serie en paralelo involucra únicamente estopines de retardo, se requiere una corriente mínima de 1.5 amperes para cada serie en el circuito.

Cuando se conecta una voladura de series en paralelo, los extremos de cada se

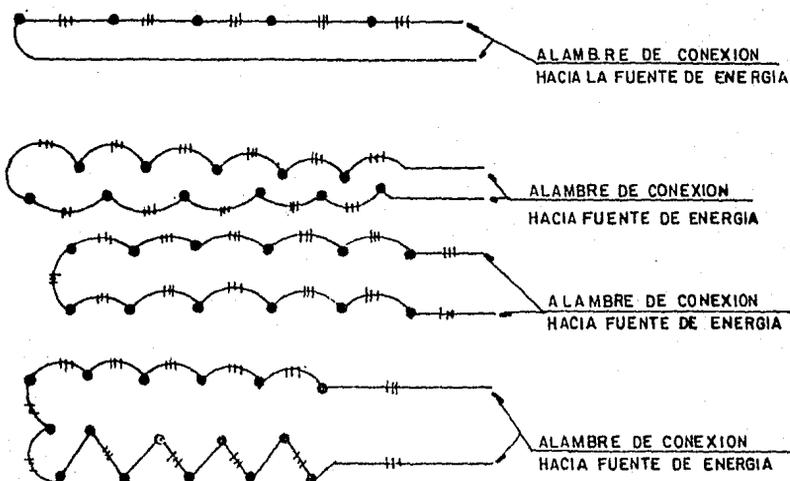


FIG. II.8 CIRCUITOS EN SERIE TÍPICOS

rie individual, deberán conectarse a la línea de encendido mediante la prolongación de los extremos de cada serie, utilizando alambre de conexión. Esto aumentará un poco la resistencia a cada serie, la cual es normalmente poca -- cuando se le compara con la resistencia de la serie.

Es muy conveniente balancear eléctricamente las series lo mejor posible. Sin embargo, pequeñas diferencias de uno o dos estopines por serie no afectarán -- los resultados de la voladura. La diferencia en resistencia, expresada en -- Ohms, entre las series nunca deberá exceder al 10%.

Para voladuras normales es costumbre limitar el número de estopines con alambre de cobre a 50 piezas por serie (120 Ohms por serie). Esto se logra fácil -- mente disparando hasta 800 estopines con una resistencia total de línea de -- 3 Ohms o menos, utilizando la explosora CD-600 que fue la que se usó en --

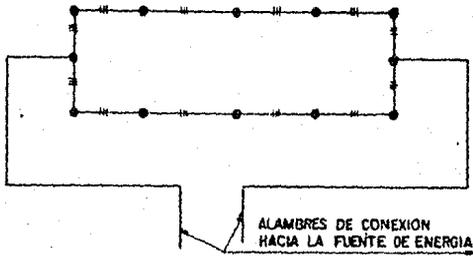


FIG. II. 9 CIRCUITO DE SERIE EN PARALELO.

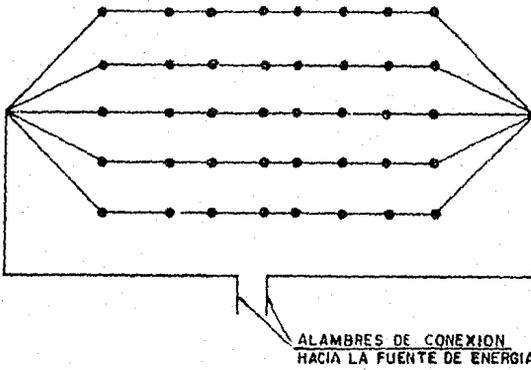


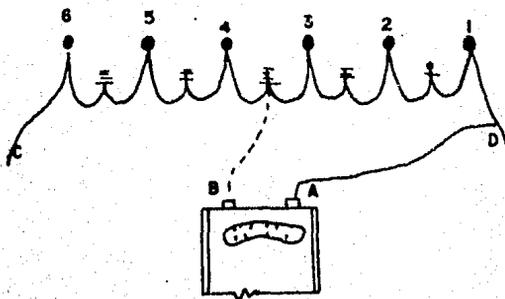
FIG. II. 10. CIRCUITOS DE SERIES EN PARALELO BALANCEADAS

la demolición de los edificios aquí descritos. Para un número mayor de estopines se requiere una mayor cantidad de estos por serie para lograr la máxima transferencia de energía entre la máquina explosora y el circuito de la voladura.

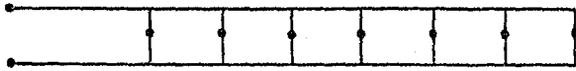
En un circuito de serie en paralelo, cada serie deberá ser balanceada eléctricamente dando a cada lectura el mismo número de ohms. Generalmente, un número igual de estopines en cada serie producirá series balanceadas. En un circuito de series en paralelo balanceadas, la resistencia de una serie dividida entre el número de series, será igual a la resistencia total del circuito. Es evidente que las lecturas del instrumento disminuyen al agregarse cada serie.

Para localizar una interrupción en el circuito se puede usar ya sea un multímetro, un Ohmetro o un galvanómetro de voladuras.

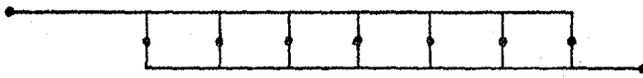
Al estar probando, para localizar una interrupción en el circuito usando el procedimiento mostrado en la fig. II.11, se conecta un alambre de conexión al extremo del circuito desde la terminal "A". Se escoge un punto a la mitad del circuito y se hace tocar al alambre de conexión de la terminal "B" a la conexión desnuda de los alambres del estopín. Si indica alguna lectura en el instrumento, el circuito es bueno entre la terminal "A" y el punto medio del circuito. Se continúa moviendo el alambre de conexión de la terminal "B" hacia conexiones más lejanas a lo largo del circuito hasta que no se indique ninguna lectura en el instrumento. Esta forma de localizar alguna interrupción en el circuito es la más comúnmente utilizada.



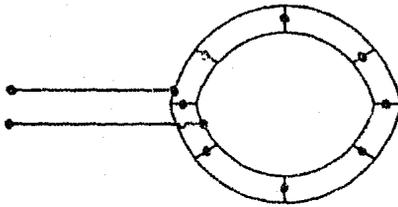
**FIG II.11 METODO PARA LOCALIZAR UNA INTERRUPCION EN EL CIRCUITO CON UN GALVANOMETRO**



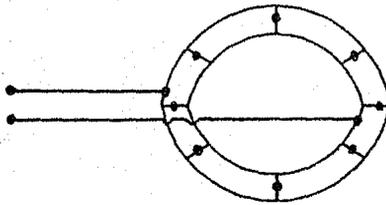
A



B



C



D

FIG. II. 12 CUATRO FORMAS DE CIRCUITOS EN PARALELO.

### Circuitos Paralelos.

Un circuito paralelo no puede probarse con los instrumentos disponibles usualmente en la operación de campo, ya que la resistencia total de éste es-- - tan pequeña, que dará una lectura cercana a cero en el instrumento y no indicará una lectura significativa. Este tipo de circuitos no es utilizado para el diseño de voladuras de edificios, debido a su complejidad y poca utilidad práctica en el campo.

Las cuatro formas básicas de circuitos en paralelo se clasifican en:

- a).- Paralelo Directo. Produce una muy mala distribución de corriente y no es recomendable.
- b).- Paralelo inverso.
- c).- Paralelo directo en paralelo cerrado. Mejores que el paralelo directo pero no es recomendable.
- d).- Paralelo inverso en circuito cerrado. Produce la distribución de corriente más uniforme y es ampliamente recomendable para circuitos en paralelo.

Estas cuatro formas se muestran en la fig. II.12.

La selección del circuito paralelo afectará el voltaje, tamaño de alambre y número de estopines que se puedan disparar.

#### II.4.4. CEBADO Y TAQUETEADO.

El cebo es la porción de la carga explosiva que consiste de un cartucho o recipiente de explosivos dentro del cual se inserta un detonador o cordón detonante y cuyo propósito es iniciar la carga principal. El cebo puede ser un explosivo encartuchado, tal como los hidrogeles o cualquier otro explosivo sensible al fulminante en una forma que sea segura y eficaz de manejar. Los explosivos inadecuadamente cebados o dejan de detonar o no entregan su energía completa.

Los cebos de iniciación deben de ser de alta velocidad y alta energía por lo que se desarrollaron diferentes tipos de éstos, sin nitroglicerina, compactos, y de alta presión de detonación para proporcionar sistemas de voladuras completas y convenientes.

La efectividad de un sistema de cebado se determina en primer lugar por la presión de la detonación, la energía y la resistencia al agua.

Los cebos pueden dividirse en tres grandes tipos, que son :

- 1.- Cebos de alta presión.
- 2.- Cebos extruidos de plástico.
- 3.- Hidrogeles encartuchados.

Cada uno de estos está diseñado para satisfacer los requerimientos para una determinada condición de presión, energía, velocidad, tamaño, costo o conveniencia. A continuación se describirá el cebado mediante el uso de Hidrogeles encartuchados que fue lo que se utilizó en el cargado con explosivos en los edificios demolidos mediante este sistema.

- Preparación de cebos con estopines eléctricos. Se hace un orificio en un lado del extremo inferior del cartucho, se inserta la cápsula lo más profundo posible empujada con el dedo dentro del explosivo y tratando que que de en el centro, se hacen 1 ó 2 lazadas alrededor del cartucho arriba y/o abajo de la cápsula para soportar el peso de la carga y para mantener a ésta en posición adecuada (ver fig. II.13).

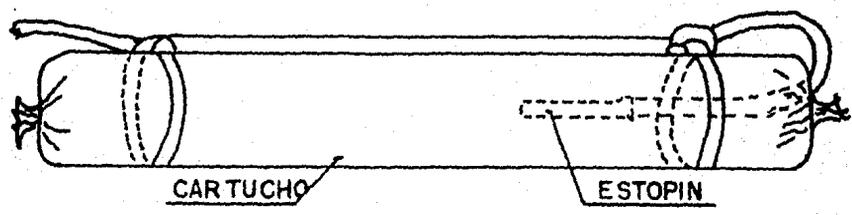


FIG II.13 PREPARACION DE CEBOS CON ESTOPINES ELECTRICOS

- Preparación del cebo con cordón detonante. El cordón detonante generalmente inicia un explosivo encartuchado sensible a la cápsula, si se coloca dentro del cartucho o en contacto con éste por la parte exterior.

Los cebos son más efectivos cuando se colocan de tal manera que la onda de detonación de los iniciadores y de la carga de cebo viaje hacia el explosivo a cebar y en la dirección hacia la cual se desplazará su onda de detonación.--- Por lo tanto en los barrenos debe de colocarse primero el cartucho cebado.

Algunas reglas para un buen cebado en las preparaciones para voladuras en general son las siguientes:

- La presión de detonación del cebo debe siempre exceder la presión de detonación del explosivo que se esté cebando.
- El detonador debe siempre dirigirse hacia la carga principal
- El detonador o fulminante deberá estar asegurado y protegido con el cebo.
- Nunca maltratar el cebo.
- Es económicamente recomendable usar el tipo, tamaño y número de cebos conocidos para asegurar un cebado eficiente y confiable con un margen de confianza.

### Material para el Taco.

El uso de una mezcla de arena y arcilla, de arena sola, de barro, o de cortaduras de piedra, da buenos resultados, pero hay que procurar que el taco no tenga partículas filosas. También se pueden conseguir tapones especiales para atacar barrenos. Al colocar el taco, o atacar el barreno, hay que tener cuidado de no maltratar los estopines y su fuélmante.

Quando se esté cargando o atacando un barreno, deben conservarse los cables del estopín estirados y a un lado del mismo, procurando no enredarlos o cortar los.

Para el caso particular usado en el cargado de los barrenos de los edificios demolidos, el material para el taco utilizado fue arena fina introducida en pequeñas bolsitas de papel alargadas de diámetro aproximado o poco menos al barreno. Siempre se utilizó un palo de madera para cargar y nunca se taconeó el cartucho de cebo de iniciación que siempre fue el primero.

## II.5.- EQUIPO Y ACCESORIOS EN VOLADURAS.

El equipo y accesorios que se utilicen en cualquier voladura, debe de estar en perfectas condiciones y ser de la mejor calidad posible, ya que es una parte muy importante en la operación.

### II.5.1.- Máquinas Explosoras.

Existen dos tipos básicos de máquinas explosoras: De generador y de descarga por capacitor (CD). A continuación se describen las características principales de cada una de ellas.

#### - Máquinas explosoras de tipo generador. (Tipo cremallera).

Estas máquinas poseen un pequeño generador eléctrico accionado a mano. Cuando este generador se activa, produce un pulso de corriente directa que

dispara los estopines eléctricos. El generador acciona el circuito de voladura cuando el operario gira o impulsa hacia abajo la manija lo más rápido y --- fuerte que le sea posible y llega a fin de su movimiento. En este punto, la producción del generador es máxima. Las máquinas generalmente, están clasificadas por el número de estopines eléctricos instantáneos que pueden disparar exitosamente en una serie recta. En general este tipo de máquinas son para el uso de voladuras compuestas por un número reducido de estopines eléctricos.

- Máquinas explosoras por descarga de capacitor. (CD).

Estas máquinas tienen un capacitor o banco de capacitores que almacena una gran cantidad de energía eléctrica suministrada por baterías de celda. El operador puede descargar la energía almacenada en los capacitores hacia el circuito de voladura en una fracción de segundo, a través de los dos postes terminales empujando el switch de disparo. Puede disparar muchos estopines eléctricos en relación a su peso y tamaño y son los medios de disparo más confiables que se tienen.

La máquina explosora utilizada en la demolición de los edificios, que aquí se analizan, fue de este tipo (CD-600) y se puede ver en la fig. II.14.

Esta unidad es de fabricación norteamericana; su constitución es de estado sólido con una caja de acero inoxidable y una placa aislada con plástico. La CD-600 tiene un voltaje de 600 volts con una capacidad de disparo de 1000 estopines eléctricos (de 2 ohms cada uno) en 11 series de 91 estopines cada una conectadas en paralelo. Su fuente de poder son 3 baterías alcalinas de 7.5 --- volts. (Eveready No. 560 o equivalente).

Para tener un buen manejo de la máquina explosora se recomienda seguir las siguientes indicaciones:

- Siempre utilizar en la operación ambas manos. El interruptor de "carga" (charge) se presiona hacia abajo y se mantiene en esa posición, hasta la luz de "listo para disparar" (ready to fire) se enciende, generalmente de 15 a 30 segundos, y el interruptor de "disparo" (fire) se oprime manteniendo oprimido el interruptor de "carga". La voladura puede detenerse en cualquier momento antes de presionar el interruptor de "disparo", quitando

la mano del interruptor de "carga".

- No debe dispararse a menos que el voltaje total de diseño se alcance como lo indica la luz de "listo para disparar".

Además de la máquina explosora "CD-600" existen otras con mayor o menor capacidad de detonación de estopines, de las cuales algunas ya no se fabrican, a continuación se mencionan diferentes tipos de éstas con su nombre comercial: Distribuidor de encendido secuencial (Sequential timer), SS-1000, CD-48-1, ----- CD-12-1, MARK 6, SS-40, SS-240.

Una de las causas principales de fallas en los disparos y también una de las más difíciles de detectar en forma anticipada, es la falta de poder de la máquina explosora. Sin embargo existe un probador de máquinas explosoras, llamado comercialmente como REO BT-300 A, con el que se pueden evitar estos problemas.

El probador se encarga de comparar la energía de salida de las máquinas explosoras por descarga del capacitor con la capacidad especificada. La descarga de las máquinas se registra en un medidor fácil de leer que indica la energía de descarga. Un interruptor en forma de manecilla se coloca en la posición deseada para probar la mayoría de las máquinas explosoras que se pueden encontrar hoy en día en el campo, en total 12. (Fig. II. 15).

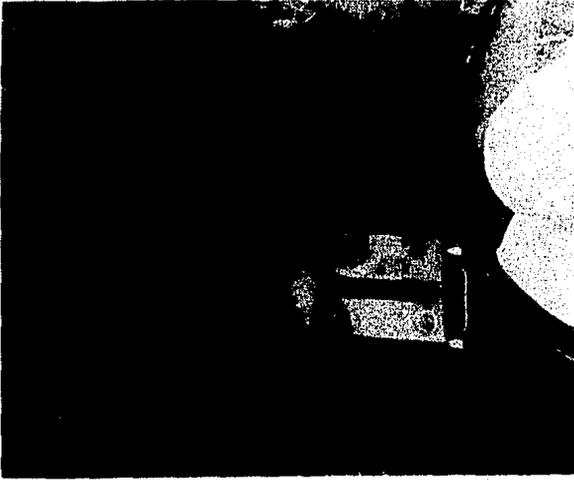


Fig. II. 14. - Máquina explosora

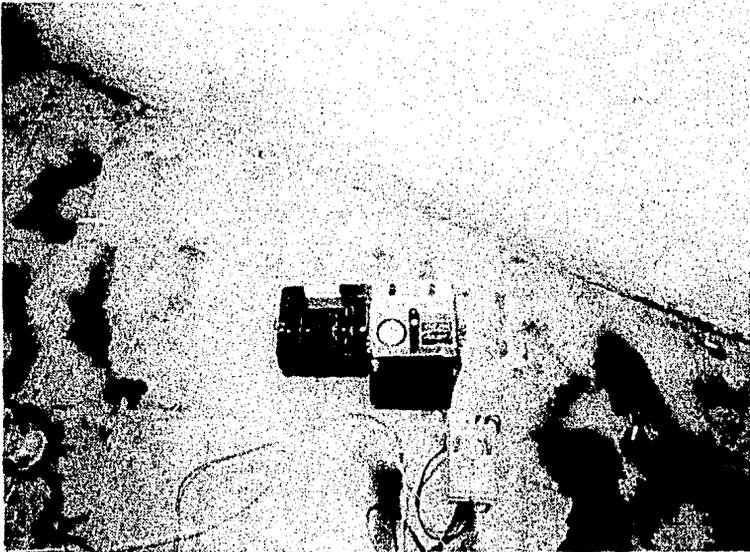


Fig. II. 15. - Probador de máquinas explosoras REO

### II.5.2.- Accesorios de voladuras.

Algunos de los más importantes accesorios para voladuras son los instrumentos para medir las características eléctricas de los circuitos de voladura, así como el área circundante para asegurar que la operación sea eficiente y segura.

A continuación se describen los instrumentos de prueba que todo operador de una voladura debe usar para auxiliarse y obtener mejores resultados y mayor seguridad.

- **Multímetro.** Es un medidor compacto de volts, ohms y milivolts, diseñado específicamente para medir resistencia, voltaje y corriente en operaciones eléctricas de voladuras. Requiere de una sola pila para linterna, estándar, alcalina, fácilmente obtenible y económica.

Su rango de voltaje es de 150 milivolts, 6,60 y 30 volts para corriente alterna y 600 volts para corriente directa; además posee un medidor de movimiento de banda tensa para resistir daño por golpe o vibración, un circuito de diodos para proteger al instrumento de sobrecargas eléctricas momentáneas o accidentales y un botón rojo especial, para prueba de corriente erráticas.

Este aparato está resistentemente construido y se caracteriza por un cuadrante de 10 cms. con escalas a colores clave (verde, rojo y negro), para fácil identificación y lectura. El estuche ha sido diseñado con una correa, que permite al operador colgárselo al cuello para colocarlo en posición de operación, dejando libres ambas manos. (Fig. II.16).

En las demoliciones de edificios con explosivos se utilizó para medir las resistencias de un solo circuito, la continuidad y la resistencia total en los circuitos de series en paralelo con un alto grado de precisión y exactitud.

- **Ohmetro.** Este instrumento está diseñado específicamente para usarse en operaciones de voladuras eléctricas. Es de construcción resistente y destaca su clara numeración en color negro en ambas escalas, pa

ra facilidades de lectura. Está calibrado, sellado y seriado en fábrica. Lleva un estuche con correa que permite un mejor manejo para el operador. Presenta una doble escala ohmica, una baja --- (100 ohms, máximo) y otra alta (1000 ohms, máximo).

Con este instrumento se pueden probar los estopines eléctricos individuales en continuidad y resistencia del circuito; probar la - resistencia de circuitos en serie de estopines; probar la resis- - tencia y continuidad de la línea de conducción y alambre de co- - nexión y mide la resistencia y continuidad total de un circuito - de estopines eléctricos. (Fig. II.17.).

- Galvanómetro. Este instrumento puede medir la resistencia en ohms de un circuito de voladuras para determinar si los alambres del puente de un estopín eléctrico individual están intactos, conocer la conti- - nuidad de un circuito o serie de estopines eléctricos y la locali- - zación de alambres y conexiones quebradas en un circuito.

Una recomendación muy importante que hay que hacer, en el uso de estos -- instrumentos, es la de nunca cambiar baterías cerca de estopines ni permitir - que ninguna batería entre en contacto directo con éstos, ya que puede ser muy peligroso.



Fig. II.16.— Multímetro



Fig. II.17.— Ohmetro

## II.6.- SEGURIDAD EN VOLADURAS.

La seguridad en la operación de voladuras, así como el uso, transporte y almacenamiento de explosivos es de vital importancia, ya que un accidente podría causar pérdidas humanas y materiales.

Si la seguridad es importante en el campo (minas, canteras, construcciones, etc.) más lo es en la ciudad y por lo tanto se requiere de una mayor planeación y vigilancia de todo el sistema operativo de la voladura.

### Brigada de Explosivos:

Ya que los accidentes no se provocan por si solos, sino por el personal, éste último debe de tener mucho entrenamiento y responsabilidad, es decir todo --- usuario de explosivos debe considerar la seguridad como su máxima responsabilidad, ya que toda ésta depende de dicho grupo de trabajo.

Por lo tanto el personal debe ser entrenado, debe tener experiencia y ser profesional, no un usuario ocasional, tiene que tener comunicación por medio de juntas y retroalimentación tanto formalmente como informalmente, la brigada - deberá promover la seguridad por medio de anuncios, reglas y supervisiones.

La brigada de explosivos deberá ser lo más pequeña posible, de acuerdo a la cantidad de trabajo.

### Preparaciones en el área de voladura o detonación:

La barrenación deberá ser supervisada y bien hecha, si se quieren obtener buenos resultados y conducir en forma segura el operativo de la detonación.

La operación de cargado de explosivos se podrá ejecutar una vez que se hayan terminado todos los trabajos de barrenación, demoliciones locales, protección, etc. de todo el edificio, no antes y cuando ésta se inicie, el edificio deberá ser desalojado tanto de equipo como de personal innecesario. Antes de cargar un barreno, se deberá revisar que esté limpio, al cargar hay que asegurar se de que el estopín esté bien colocado dentro del cebo y no pueda salirse.

Una vez cargado y durante dicha operación el edificio deberá estar bloqueado en todos sus accesos por personal de guardia.

A la hora de la detonación, los vecinos de la zona deberán ser desalojados a una zona segura y el edificio deberá ser acordonado por lo menos dos cuadras a la redonda (mínimo de 200 m.).

Hay que usar un sistema de señales conocido por todo el personal que participe en el operativo de la detonación.

Ya que en la detonación de edificios se utilizan estopines eléctricos se deberán tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para que éstos no vayan a tener una ignición accidental; no manejándolos o exponiéndolos a:

- a). Tormentas eléctricas o nubes electrificadas.
- b). Cerca de fuentes o conductores de voltaje, líneas de transmisión, etc. - capaces de transmitir 0.05 amperes o más a través de una resistencia de un ohm.
- c). Abuso físico, golpes, vibraciones, temperaturas arriba de 65°C, etc.

Regreso al área de detonación:

En toda operación de de una voladura, el supervisor deberá asegurarse que la - detonación previa no produjo ningún peligro nuevo o imprevisto. Por lo tanto antes de que el personal y el equipo regresen al área de detonación, el personal responsable deberá:

- a). Inspeccionar los resultados de la detonación, especialmente en la busca de explosivos sin detonar en la rezaga o escombro o barrenos que hayan - quedado sin disparar hasta donde sea posible, con el mínimo de perso---nal.
- b). Reconocer y corregir condiciones peligrosas de inestabilidad del escombro o inclusive partes parciales que hayan quedado en pie de las edifica- ciones.

- c). Rociar la rezaga con agua, este proceso asienta el humo y el polvo, mejorando la visibilidad.
- d). Los explosivos sin detonar, dentro o sobre la rezaga, los deberán de manejar la brigada de explosivos; se podrán detectar sobre todo en donde el edificio se vea más entero sabiendo que en dichas zonas se había cargado con explosivos.
- e). Durante el quebrado y retiro de la rezaga pueden ocurrir accidentes, ya que sobre todo la maquinaria pesada o rompedoras pueden iniciar los explosivos que no hayan detonado y no se pudieron detectar en la inspección, por lo tanto todo el personal y operadores deberán estar alerta, para dar aviso y retirar dichos explosivos.

#### II.6.1.- Transporte, almacenaje, manejo y destrucción de explosivos.

Los reglamentos establecidos por el gobierno regulan en varios aspectos el uso de explosivos para minimizar riesgos.

"Transporte de explosivos": En México está regulado por la Secretaria de la Defensa Nacional y la Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

El reglamento incluye :

- 1). Especificaciones del embarque, documentación y contenido de carga.
- 2). Etiquetado y Carteles.
- 3). Compatibilidad de materiales.
- 4). Regulación de Seguridad para el chofer, vehículo y operación del mismo.

De esto hay que destacar que el vehículo deberá tener un piso firme que no produzca chispas al igual que todas las partes que tengan contacto con la carga, deberán estar construidas o recubiertas con material que no produzca chispas y en cuanto a compatibilidad de materiales es conveniente llevar por separado en un vehículo los estopines o cápsulas iniciadoras y en otro el explosivo.

"El almacenamiento de explosivos" propiamente dicho deberá ser en polvorines-  
adecuados, los cuales por falta de espacio no serán descritos aquí, pero para  
el uso de explosivos en la demolición de edificios éste es relativo, ya que -  
cuando el vehículo de explosivos llega al área del edificio por detonar en se  
guida se empiezan a utilizar, es decir el vehículo de transporte se convierte  
en un polvorín portátil móvil que sólo permanece durante unos cuantos días, -  
en lo que se efectúan pruebas y el cargado del edificio. El vehículo debe --  
ser custodiado por personal de vigilancia todo el tiempo que permanezca en el  
área de detonación y deberá ser estacionado en lo posible a distancia de ca-  
lles públicas, puentes, túneles, edificios o lugares de reunión. Por lo gene-  
ral se han escogido estacionamientos o terrenos baldios adyacentes al edificio  
por detonar. Si lo anterior no es posible, habrá que bloquear y acordonar la  
calle en donde se estacione el vehículo.

"El Manejo de Explosivos" empieza con el transporte del punto central de alma-  
cenamiento al área de detonación, de la cual ya se dieron recomendaciones; -  
de aquí en adelante el manejo de explosivos deberá ser únicamente realizado -  
por el personal de la brigada de explosivos, la cual empezará a trabajar des-  
pués de que :

- a). Las demoliciones previas, preparaciones de protección y barrenación del  
edificio ya están terminadas en su totalidad.
- b). La energía eléctrica para las instalaciones del edificio ya ha sido cor-  
tada, y si se requiere de luz artificial, únicamente se podrán utilizar  
lámparas portátiles de gas.

En general las condiciones de manejo son :

- 1.- Los explosivos y detonadores deberán mantenerse aparte hasta el último -  
momento.
- 2.- Siempre deberán manejarse cuidadosamente, mantenerse secos, y protegidos  
de golpes, fricción, fuego o chispas.
- 3.- Los alambres de los detonadores eléctricos deberán mantenerse fuera del  
contacto de corrientes erráticas o superficies cargadas eléctricamente.

- 4.- Todos los explosivos y detonadores que no se usen al final de una tarea de cargado, deberán regresarse al camión, el cual no deberá irse hasta que se haya terminado el cargado total del edificio, y se regrese el sobrante y/o material defectuoso.
- 5.- Se deberá hacer y cumplir un programa de cargado, con una secuencia de inicio en los niveles superiores y luego niveles inferiores del edificio por demoler.

"La Destrucción de Explosivos" dañados es frecuente y por lo general el fabricante da la asistencia necesaria. Los explosivos dañados son más peligrosos que los que están en buenas condiciones, por lo tanto mejor se destruyen, a volverlos a utilizar.

Entre las causas que dañan los explosivos se hayan las siguientes:

- a). Mal y/o prolongado almacenamiento,
- b). Recipientes rotos en el transporte y manejo.
- c). Disparos quedados, y al retirar del barreno el explosivo se deteriora.
- d). Sobrantes, ya que al dosificar, únicamente se requieren fracciones del cartucho de hidrogel, el cual se puede cortar fácilmente, quedando el resto inservible, etc.

## II.6.2. Vibraciones y Golpe de Aire.

### Vibraciones.

Quando un explosivo detona en un barreno, genera una intensa onda de esfuerzos en el concreto circundante. Esta pulveriza el concreto que se encuentra rodeándolo en una distancia equivalente a varios diámetros del mismo.

En una voladura, que puede terminar su detonación en unos cuantos segundos, se producen vibraciones del suelo en lugares que esten a varios cientos de metros de distancia. La amplificación del movimiento del suelo con la distancia tiene lugar con un proceso conocido como dispersión, donde las diferentes frecuencias que componen las variadas ondas de superficie viajan a diferentes

velocidades, como se comentó en el capítulo primero.

La intensidad del movimiento sísmico o del suelo que pueden soportar varios tipos de estructuras, debe de establecerse antes de determinar las cargas en peso aceptables a diferentes distancias. En la demolición de los edificios tratados en este escrito, en general las cargas en peso de explosivos fueron pequeñas por lo que la velocidad de las vibraciones del suelo en las edificaciones cercanas fueron muy reducidas y del orden de 0.5 cm/seg. (0.19 pulg/seg).

Para reducir las vibraciones del suelo por voladuras, se recomienda tratar de llevar a cabo las siguientes indicaciones:

- Diseño de detonación en forma de cuña para provocar el máximo alivio ---- práctico.
- Usar un factor de carga adecuado (cantidad de explosivo).
- Utilizar diversas técnicas para reducir la carga en peso por retardo y a la vez, la velocidad máxima de la onda de vibración.
- Eliminar o reducir la propagación de barreno a barreno entre cargas que se intentan detonar a un diferente período de retardo.

#### Golpe de Aire de las Explosiones.

El golpe de arie provocado por una explosión, es una onda de compresión en el aire, la cual es producida tanto por la acción directa de la detonación de un explosivo no confinado en el aire o por la acción indirecta de un material confinado, sujeto a una carga explosiva. El ruido es la porción del golpe de aire que se encuentra en la parte audible del espectro, variando de 20 a 20,000 Hz, y otra porción es la concusión que se encuentra debajo de los 20 Hz. Por lo tanto para poder medir el golpe de aire completamente, se requiere una suficiente amplitud de banda que incluya todos los componentes de frecuencia, ya que el golpe de aire debido a explosiones contiene generalmente una considerable cantidad de energía con frecuencias por debajo de los 20 hz. Estas bajas frecuencias, pueden llegar a dañar estructuras directamente pero por lo general pueden excitar vibraciones de frecuencias más altas las que se perciben como ruido en ventanas, puertas, objetos sueltos, etc.

Cuando un gran número de cargas explosivas cercanas, se detonan con retardos de tiempos cortos entre sí, los golpes de aire de cada carga pueden sobrepo---

nerse en una dirección dada y producir un fuerte golpe de aire, ésto se denomina, efectos direccionales.

Dentro de los factores que afectan la intensidad del ruido de una detonación a una cierta distancia se encuentran los atmosféricos, ya que la velocidad -- del sonido varia con la temperatura y la velocidad del viento. Los gradientes del viento son altamente direccionales, mientras que los gradientes de -- temperatura son generalmente independientes del azimut; es decir, pueden re-- fractar la dirección del sonido incrementando los niveles de ruido.

Dentro de los daños más comunes causados por el golpe de aire, se encuentran las ventanas de vidrio, las cuales son abundantes en el caso de demolición de edificios, por lo tanto se puede controlar el golpe de aire para evitar di-- chos daños, con las siguientes recomendaciones :

\* Evitar el uso de explosivos no confinados.

- 1.- Enterrar el cordón detonante 30 cm. o más.
- 2.- Utilizar cordón detonante con carga baja y enterrarlo unas cuantas -- pulgadas más.

\* Usar el taco adecuado.

- 1.- Utilizar bolsas de arena cernida y seca, sobre todo en columnas de bor-- de, dosificando lo menos posible.

\* Programar los Disparos.

- 1.- Programar los disparos cuando los vecinos esten normalmente ocupados o esperen que ocurra una voladura.
- 2.- Evitar disparos temprano en la mañana o entrada la tarde para evitar la posibilidad de detonaciones durante inversiones térmicas, que pue-- dan aumentar el ruido.

\* Procurar que la progresión de la detonación en columnas exteriores sea me-- nor que la de la velocidad del aire.

## C A P I T U L O    I I I

### EDIFICIOS DEMOLIDOS CON EXPLOSIVOS

#### III.1. ORGANIZACION Y PLANEACION DE LOS TRABAJOS EN UNA DEMOLICION.

La organización en la demolición de un edificio con el método de explosivos es de fundamental importancia, ya que de ésta depende que se obtengan resultados satisfactorios como lo es en cualquier obra o actividad ingenieril a desarrollar.

A manera de esquema general se expondrá la forma en que se lleva a cabo la planeación de las actividades que se deben realizar antes y después de la demolición de un edificio, ya que toda preparación requiere de una organización mínima con objeto de atender por lo menos las cinco áreas básicas de todo proceso en una demolición, las cuales podemos clasificar en: la tramitación legal y/o administración, la planeación y control de las preparaciones en el edificio, el avance de obra, el control de calidad de dichas preparaciones y el cargado, demolición y resultados finales.

El objetivo de esta organización es poder ejecutar con la mayor eficiencia la demolición del inmueble cumpliendo con las especificaciones marcadas en planos, elaborados previamente, de las preparaciones; es decir logrando la cali-

dad que se requiere en el trabajo para permitir obtener una buena fragmentación del edificio por derrumbar, y los menores daños a colindancias, si es que las hay.

Cada construcción por demoler tiene su forma de preparación muy particular, o sea que se puede decir que existen diferencias muy notables entre la preparación de un edificio con espacios libres a su alrededor y otro con colindancias muy cercanas, por lo que la organización y planeación varía entre un inmueble y otro.

La técnica siempre es la misma, se aplican en las columnas principales de las construcciones cargas explosivas (Hidrogeles) que al detonar fracturan las bases de las construcciones y la ley de la gravedad realiza lo demás; aunque lo importante es dónde exactamente colocar las cargas y los tiempos de detonación, de tal manera que los escombros caigan en un lugar planeado previamente.

Antes de la demolición existen preparativos legales y administrativos que realizó COVITUR, que fué el organismo designado para llevar a cabo la organización general por parte del D.D.F., que se encarga de tramitar todo lo relativo a los preparativos como son: nombre del edificio, localización, propietario y/o responsable, características generales del edificio, tipo de propiedad, motivos por el que se propone demoler, notificaciones con S.G.O., situación financiera, seguros, situación legal, y notificaciones y permisos a dependencias involucradas como son I.N.A.H., I.N.B.A., S.E.P., SEDUE, S.T.C., TEL-MEX, PEMEX, Delegación, etc. Estos preparativos corresponden a la primera etapa del proceso para la demolición de un edificio. En general se encarga de planear y coordinar la administración de la demolición; dictamina con base en un análisis de costos (precios unitarios) la constructora que se encargará de llevar a cabo las preparaciones necesarias en el edificio y la supervisión en la realización de éstas.

Procesa también la información necesaria que auxilie en la correcta toma de decisiones, para lo cual conforma la coordinación del programa de demolición fijando objetivos, presupuestos y controles para la administración adecuada de los materiales por utilizar en los preparativos.

El papel principal es el de mantener las normas, o sea, ver que las activida-

des se desarrollen conforme a lo planeado, que el costo no se exceda del estándar preestablecido, que la mano de obra lleve a cabo los preparativos de acuerdo con el método estándar predeterminado, que los materiales y la mano de obra que se necesiten se encuentren a la mano, que los embarques se lleven a cabo de acuerdo con el programa en las cantidades correctas, que no descienda la calidad de las preparaciones del edificio, y así sucesivamente.

Pero para que este organismo pueda cumplir satisfactoriamente todos los encargos ya mencionados con anterioridad es necesario coordinarse con otro grupo de gentes como son: grupo de ingenieros y/o arquitectos para supervisión, un grupo de especialistas o técnicos en estructuras, un grupo de profesionistas de servicios urbanos, policías, militares, etc. para realizar de la mejor manera posible el plan operativo para la ejecución de la demolición de edificios que lo conforman las cuatro etapas subsiguientes, a la ya tratada, de que se hizo mención al inicio de este subcapítulo.

La segunda etapa en la demolición de edificios con explosivos la constituye la planeación y el control de las preparaciones, la cual se inicia con una visita por parte de los especialistas en demoliciones al inmueble por derrumbar y en la que analizan la posible caída de los escombros. Inmediatamente después, una brigada de ingenieros en estructuras realizan un levantamiento de daños en el edificio (análisis técnico) para inspeccionar y poder determinar la seguridad que existe para trabajar dentro del edificio.

Además los ingenieros en estructuras realizan un peritaje en el que dictaminan el por qué de la demolición, o sea se dan las razones con base en el estado que guarda la estructura, los desplomes y hundimientos diferenciales, riesgos para la seguridad pública, etc.

Cuando existen posibles riesgos para trabajar dentro del edificio, los ingenieros en estructuras dictaminan las preparaciones que son necesarias para poder mantener sin riesgo de peligro al personal que se encuentre dentro del edificio, llevando acabo las indicaciones pertinentes.

Es de fundamental importancia que exista una brigada de Topografía, desde el inicio hasta el final de los preparativos en el edificio por demoler, ya que ésta proporciona desplomes y hundimientos con precisión que son muy importan-

tes con el transcurso del tiempo, principalmente en edificios seriamente dañados en su estructura. Esta brigada vacía en un papel la forma geométrica del edificio en el que se deben señalar detalladamente las particularidades que presenta la estructura como son: contorno real del edificio, el área de la superficie del edificio, la diferencia de altura (hundimientos) que tienen los puntos o vértices del edificio y los desplomes de puntos fijos en la estructura conforme transcurre el tiempo.

La brigada de Topografía debe de realizar sus lecturas por lo menos cada 2 horas, aunque este lapso de tiempo puede variar con respecto a las condiciones estructurales del edificio, ya que de haber posibles movimientos que pongan en peligro a la gente que se encuentre dentro del edificio trabajando ésta -- sea desalojada lo más pronto posible y con el debido orden.

Antes de dar inicio a las preparaciones se deben rescatar todas las pertenencias y cosas de valor que se deseen retirar del edificio, desconectar todos los suministros y servicios que se encuentren a una distancia de 6 a 10 metros, revisión de las estructuras circundantes sujetas a posibles daños y la protección de las mismas, según sea necesario.

Para evitar problemas con los propietarios de inmuebles cercanos, es recomendable llevar a cabo un levantamiento fotográfico de las construcciones y un peritaje oficial antes de la demolición con notario presente para testimoniar las condiciones estructurales de dichas construcciones.

Los ingenieros en estructuras se encargan de obtener la distribución de los elementos estructurales (principalmente columnas) del edificio por demoler, marcos estructurales en diferentes vistas de manera clara y sencilla para que sobre estos planos se indiquen las preparaciones necesarias por parte de los técnicos especialistas en demoliciones con explosivos y que son entregadas al personal encargado de la supervisión que tendrá bajo su cargo que se cumplan al pie de la letra estas indicaciones.

El área de supervisión se encarga de interpretar las preparaciones y vigilar que éstas sean cumplidas, de tal forma que si no se realizan, ordenar las medidas preventivas y correctivas que juzgue necesarias para realizar su función. Este equipo de trabajo abarca la tercera y cuarta etapa básicas en una

demolición, por lo tanto también debe de dar un reporte de avance por día, para lo cual debe de inspeccionar la barrenación, la demolición de muros, la protección, verificar la calidad de las preparaciones, etc.

La constructora encargada de llevar los preparativos en el edificio por demoler debe de cumplir con las especificaciones y procedimientos señalados en los planos respectivos.

La calidad en las preparaciones es muy importante, ya que de éstas dependerán los resultados finales, por lo tanto la supervisión debe de vigilar que se cumplan los requisitos preestablecidos, reportando las diferencias que se encuentren, con objeto de que se tomen las acciones necesarias para corregir las desviaciones existentes.

Quando se les da el visto bueno a las preparaciones se inicia el cargado de explosivos en la estructura, la ejecución técnica programada va directamente relacionada al conocimiento detallado de los efectos que el explosivo habrá de desarrollar una vez que ha sido colocado en el lugar preestablecido en los planos y ser detonado por medio del disparo eléctrico.

En esta etapa de cargado se debe de tener en cuenta la prevención de accidentes, ya que se debe recordar que se estan utilizando explosivos muy potentes y que existen varios artefactos y métodos para ayudar a controlar el manejo de éstos. Debe comprenderse que el mal control puede matar o herir a muchas personas.

Todos los explosivos son peligrosos y deben ser manejados y usados con cuidado por personas competentes y experimentadas, o bajo la vigilancia de éstas. Todas las personas que manejen los explosivos tienen la responsabilidad de conocer y poner en práctica todas las medidas aprobadas de seguridad.

En el caso de los edificios demolidos que se tratan en este trabajo, la Secretaría de la Defensa Nacional, con un grupo de elementos de ésta corporación y técnicos especialistas en demoliciones con explosivos se encargaron de realizar la tarea de dosificar el explosivo y conformar los circuitos eléctricos hasta el puesto de mando o punto de detonación con el respectivo tendido de cables.

Es fundamental, además de conocer el explosivo a utilizarse en demoliciones, conocer en detalle la gama de iniciadores y su funcionamiento, que harán posible la detonación técnica del explosivo y a la vez permitirán el control del efecto de caída deseado.

Los iniciadores, tratados en el capítulo segundo, son elaborados con la finalidad de encender en forma instantánea o retardada la detonación de las diferentes cargas colocadas en las columnas de la estructura, y es con éstos donde se determina la secuencia del trabajo del explosivo y la caída de los escombros.

En las demoliciones de edificios los iniciadores son vitales para el buen funcionamiento del sistema; la dirección de la caída depende del diagrama de aplicación de los iniciadores, la fragmentación deseada depende de la caída programada, la seguridad de la calidad del trabajo realizado, la costeabilidad de la demolición, etc. Por lo cual su adecuada aplicación depende de saber aprovechar la gama de los mismos.

Comprendiendo el efecto del explosivo y la acción que desarrolla el iniciador o retardo, se puede considerar la forma de efectuar la demolición de columnas en variados lugares y niveles del edificio, para buscar los resultados óptimos en la demolición.

La demolición se programa aprovechando su propio peso; el no planear correctamente puede crear la caída del mismo con muy mala fragmentación, dejando lomas, trabes y columnas superiores sin daños considerables. Entonces el costo de limpieza aumentará, por lo cual es muy importante dar el uso lo más apropiado posible a los explosivos. Siempre se debe de buscar obtener las ventajas de seguridad, de tiempo y de costos con respecto a la demolición manual o tradicional.

En las demoliciones de edificios con explosivos es muy importante tomar en cuenta los aspectos de seguridad, el aspecto social y el efecto hacia la comunidad; para los casos que aquí se tratan se hicieron análisis regionales para acordonamiento a 200 metros a la redonda del edificio por demoler con ayuda de personal de servicios urbanos por parte del D.D.F.

Esta corporación se encargó de dar aviso de la fecha y hora de la detonación para que la gente que habitará en el área restringida fuera desalojada con el propósito de trabajar con mayor seguridad y como medida de precaución.

El control técnico de todas estas demoliciones requirió del registro con sísmógrafos de los efectos de vibración creada por la caída del edificio y detonación de los explosivos, las cuales fueron muy pequeñas no capaces de provocar problemas en construcciones cercanas. Otra consideración que hay que tomar en cuenta es la del golpe de aire que puede ocasionar daños a colindancias cercanas, y por lo tanto tratar de evitar éstos.

Exactamente después de la detonación entran pipas con agua y aspersoras con mangueras para disminuir la cantidad de polvo que es expulsado a la caída del edificio. Se realiza una inspección técnica visual para dar dictamen de resultados, mientras se continua con la limpieza de las calles circundantes mediante agua (pipas y mangueras) para dar la autorización del tráfico de vehículos en la zona circundante al sitio de la demolición conforme sea necesario.

De forma muy general, todo el programa operativo para la ejecución de la demolición de un edificio se puede enlistar como sigue:

- Tramitación y deliberación del edificio por demoler.
- Análisis del acordonamiento regional y local.
- Revisión del plan de protección de instalaciones y construcciones cercanas.
- Determinación del personal responsable para el manejo de explosivos, de la seguridad del operativo, de invitados y periodistas, levantamiento fotográfico notarial, peritajes de edificaciones aledañas, etc.
- Aprovisionamiento de todos los materiales por utilizar en la demolición, como son materiales explosivos, alambre, pinzas, mallas, triplay, radios, explosor, etc.
- Realización de preparaciones en el edificio, por parte del personal de la constructora designada, con la adecuada supervisión.
- Resguardo de los explosivos en el sitio de trabajo durante el tiempo de cargado.
- Establecer sistema de señalización (alarma) que se utilizará en el momento

previo a la voladura.

- Determinar el lugar preciso del puesto de mando en donde se encontrará el explosor.
- Revisión final previa a la voladura y colocación de sismógrafos.
- Demolición.
- Periodo para permitir el asentamiento del polvo para evaluación del trabajo con un recorrido final.
- Autorización del tráfico de vehículos en la zona circundante al sitio de la demolición conforme sea necesario.
- Iniciar la limpieza de las calles circundantes mediante agua.
- Programa del retiro de escombros y reciclaje de éste, uso posterior del suelo.

### III.2. ASPECTOS TECNICOS.

En general cualquier edificación se puede demoler utilizando la técnica de explosivos, la ventaja principal y directa es la rapidez en contraste con el método tradicional o manual, el cual resulta muy prolongado e inseguro sobre todo en edificios con alturas mayores o iguales a 6 niveles. La demolición de edificios con ambos métodos tienen el mismo objetivo, fragmentar la edificación lo suficiente para poderla retirar con el uso de recursos de transporte, maquinaria, etc. Mientras el grado de fragmentación sea mayor se tendrá un mejor y más rápido manejo de rezaga.

Los edificios por demoler con el método de explosivos pueden ser tanto dañados por sismos, incendio, hundimiento, desplome, etc., como los que estan en buenas condiciones pero que es necesario retirarlos para construir obras de mayor importancia, por término de vida útil, etc. Dichas edificaciones pueden estar estructuradas a base de concreto y/o acero.

Por falta de espacio este escrito sólo se enfocará a edificios estructurados a base de concreto con sus diferentes tipos u opciones de estructuración.

Uno de los factores importantes en la técnica de demolición de edificios con explosivos, que se analizará en el capítulo V, del cual depende en una buena parte el éxito de obtener una buena fragmentación, es la energía potencial --

gravitatoria, la cual puede ser útil a partir de edificios con una altura de 6 niveles; es decir, al aprovechar la fuerza de caída del edificio no se requiere preparar todos los niveles con explosivos, haciendo el método más económico, lo contrario pasaría en edificios de menos de 6 niveles, en los que habría que preparar prácticamente todos los niveles, encareciéndose el método de explosivos y resultando más competitivo el método tradicional. El procedimiento de demolición con explosivos es aplicable básicamente a edificios altos.

La demolición de edificios con explosivos tiene las mismas características de una obra de construcción, se requiere de un proyecto, un contratista que lo ejecute y un supervisor que lleve el control, más aparte la asesoría técnica de un especialista en Estructuras, que si bien en una obra de construcción no se utilizan sus servicios, aunque debiera hacerse, en este caso es vital su presencia.

Existen diversos factores que deben tomarse en cuenta para llegar a la decisión de demoler un edificio. En primer término, está el de realizar un peritaje estructural y de mecánica de suelos que dictamine la necesidad de hacerlo. Otro análisis que habrá que hacerse, es uno de tipo económico, en el que se justifique, que en los casos en donde sea posible técnicamente efectuar una reparación, ésta resulte menos costosa que el valor de reposición del inmueble.

Una vez que se decida demoler un edificio, se deberán planear y estudiar los diversos procedimientos para demolerlo, siendo los más comunes el tradicional a mano, el de grúa con pera y el de explosivos. El análisis de los métodos factibles de aplicarse en cada caso llevará a la solución más adecuada. No existe un patrón general que diga qué solución aplicar, habrá que analizar cada situación en particular.

Un factor muy importante que debe tomarse en cuenta al estudiar la posibilidad de aplicar explosivos, es el problema de colindancias. Cuando los edificios colindantes están muy próximos al edificio que se va a demoler, existe el riesgo de dañarlos. Este riesgo proviene, por un lado, de la imposibilidad de precisar con exactitud la dirección de la caída del edificio, y por otro, se debe a que el volumen de material del edificio se conserva al demolerlo. Por lo tanto al caer el edificio el material tenderá a derramar, con

el consiguiente empuje sobre las estructuras vecinas. Es ideal, por lo tanto, que un edificio se encuentre lo suficientemente aislado para no enfrentar estos problemas. En la práctica, sin embargo, los edificios se presentan con limitantes de colindancias que deberán considerarse cuidadosamente en el proceso de la demolición.

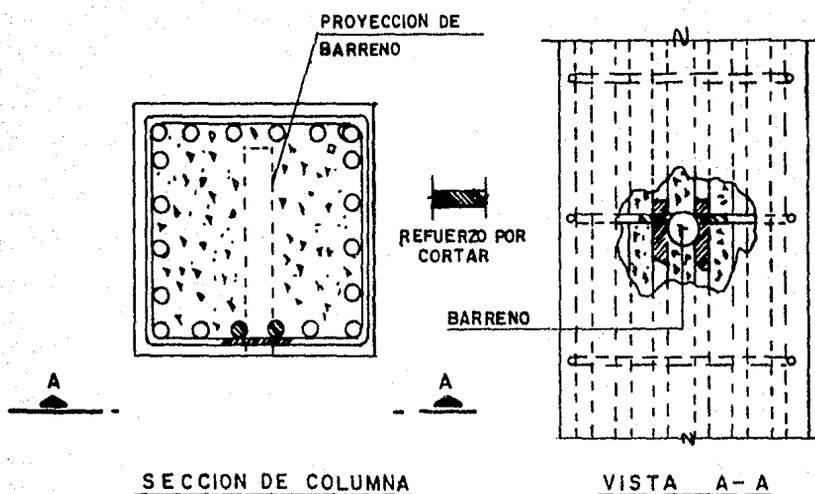
Dependiendo del caso, será necesario en algunas ocasiones demoler a mano, previamente, la parte del edificio que sea requerida, para asegurar que no se causen daños, con la caída, a las construcciones colindantes. En otras ocasiones será más conveniente hacerle preparaciones a las estructuras vecinas para minimizar los daños. Incluso, puede contemplarse la posibilidad de correr el riesgo de dañarlas cuando el costo de reparación sea menor al de las preparaciones.

Del proyecto de las preparaciones necesarias para demoler el edificio, el 80% aproximadamente, se hacen en elementos resistentes, siempre en columnas, muros de cortante (de concreto reforzado) y algunas veces en trabes con secciones muy robustas.

Las preparaciones en los elementos estructurales, consisten principalmente en barrenaciones que se pueden hacer sin dificultad si éste se encuentra en buen estado. Pero para el caso de edificios dañados, como es particular, un Ingeniero Estructuralista es el que debe dictaminar si se pueden realizar o no en los elementos estructurales; hasta inclusive limitar zonas en las que no se permita hacer ningún trabajo, o si se requiere de apuntalamiento, etc.

A menudo algunos elementos resistentes requieren debilitarse, por ejemplo:

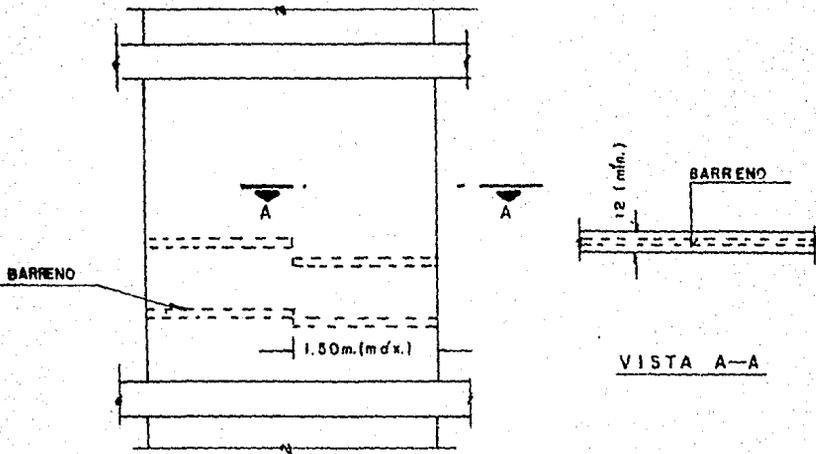
- 1.- Columnas con su refuerzo longitudinal uniformemente distribuido en su sección, no permiten el paso del barreno, sobre todo en columnas de planta baja o en zonas de traslape del armado longitudinal, en las que la separación libre entre varillas es de sólo unos cuantos centímetros, por lo tanto en la zona del barreno habrá que demoler el recubrimiento del refuerzo y cortar con soplete una o dos varillas y dar así paso al barreno (fig. III.1.).
- 2.- Los muros de cortante de concreto reforzado, que solo tengan la función



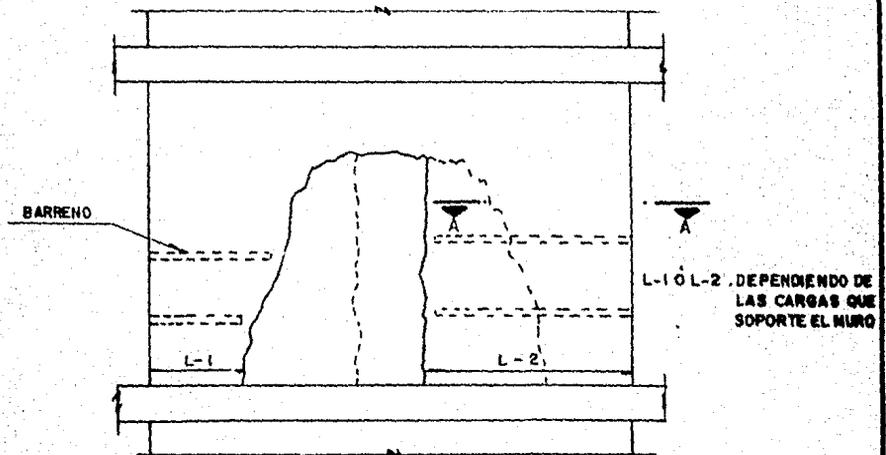
**FIG. III.1 CORTE DE REFUERZO PARA PODER BARRENAR**

de dar rigidez para resistir fuerzas sísmicas, se podrán demoler total o parcialmente dependiendo de las condiciones generales del edificio, ya que por ejemplo éste puede estar desplomado y por lo tanto dicho elemento estructural puede estar trabajando. Para el caso de muros de concreto reforzado que tengan ambas funciones de rigidez y de carga, por lo general deberán demolerse parcialmente, inclusive en forma de arco, de tal forma que resulten columnas independientes que se puedan barrenar con facilidad, sobre todo en muros que tengan una longitud mayor a los 3 metros. Para el caso de muros con menos de 3 metros de longitud, no se requerirá demolerlos, a menos que el contratista garantice con personal calificado y equipo adecuado, barrenos de una longitud del orden de hasta 1.50 metros bien centrados en espesores de muros del orden de 12 cm. o más (fig. III.2) y dependiendo de la dirección de caída del edificio.

El éxito de una buena fragmentación depende principalmente de aprovechar la energía potencial gravitatoria, sobre todo de los niveles superiores, ya que éstos tendrán más aceleración y por lo tanto más fuerza en su caída, siempre



MURO CON SU PLANO PERPENDICULAR  
A LA DIRECCION DE CAIDA



MURO CON SU PLANO PARALELO  
A LA DIRECCION DE CAIDA

**FIG. II. 2 PREPARACIONES EN MUROS DE CONCRETO REFORZADO**

y cuando ésta sea libre. Para poder garantizar la caída libre de los niveles superiores, será indispensable preparar adecuadamente los niveles inferiores, sótano si existe, P.B., y primer piso, en los que además de barrenarse todas las columnas de preferencia en toda la altura del entrepiso y cargar con explosivos, habrá que remover todo elemento que oponga resistencia a la caída, como son: los muros divisorios, los muros de los cubos de escaleras y elevadores, los cuales pueden llegar a ser tan rígidos que se comportan como muros de cortante en los que adicionalmente habrá que demoler rampas y cortar las guías metálicas respectivamente. Dichos elementos que pueden oponer resistencia a la caída libre y no son de carga o estructurales, a menudo en edificios dañados trabajan como puntales sosteniendo traveses, losas, etc. con fallas y es el estructurista quien decidirá si se retiran dichos elementos de acuerdo a los daños existentes.

Por lo expuesto en los anteriores puntos sale sobrando decir la importancia de tener a la mano los planos del proyecto estructural del edificio por demoler, ya que con ellos se puede tener idea de que elementos son más o menos resistentes y dosificar adecuadamente los explosivos, saber si el edificio ha sido reparado o reestructurado por anteriores daños, etc. Dichos planos los manejará e interpretará adecuadamente el especialista en estructuras, en el mejor de los casos, ya que por lo general los edificios por demoler carecen de la existencia del proyecto estructural, y por lo tanto habrá que ejecutar un levantamiento para poder elaborar croquis que sustituyan dichos planos y para que éste sea lo más detallado posible, habrá que hacer calas si es necesario para poder identificar todos los elementos resistentes.

Una vez que se ha estudiado el edificio y se conoce su estructuración, se tendrán elementos para tener idea de como se deforman sus marcos y con esto controlar mejor la caída del edificio durante su detonación. Por ejemplo si el edificio está formado por marcos rígidos, éste tendrá una deformación de modo cortante, si son marcos de cortante se deformará de modo flexionante, etc., es decir comportamientos globales de la estructura en elevación; en planta habrá que tomar en cuenta irregularidades como son plantas muy alargadas, piso suave, cubos de luz, sistemas de piso muy rígidos que actúen como diafragmas en el sentido de la caída limitando la buena fragmentación, etc. En el caso de marcos contraventeados, habrá que demoler parcialmente --

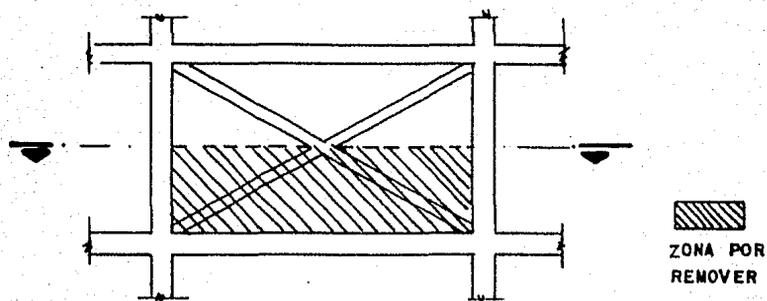
una o dos de las partes inferiores de los contraventeos según el proyecto de caída (Fig. III.3.).

Los edificios más adecuados para demoler con explosivos son los que aparte de tener 6 o más niveles se encuentran aislados, es decir no tienen edificios colindantes, de lo contrario se les podría dañar, excepto cuando se va a demoler una cuadra entera. Cuando hay edificaciones colindantes separadas de --- 2 metros en adelante aproximadamente, se puede decir que el edificio está --- aislado, si la separación disminuye habrá que hacer preparaciones adicionales, las cuales se describirán en el capítulo IV, dichas preparaciones siempre implican la intervención del ingeniero estructurista.

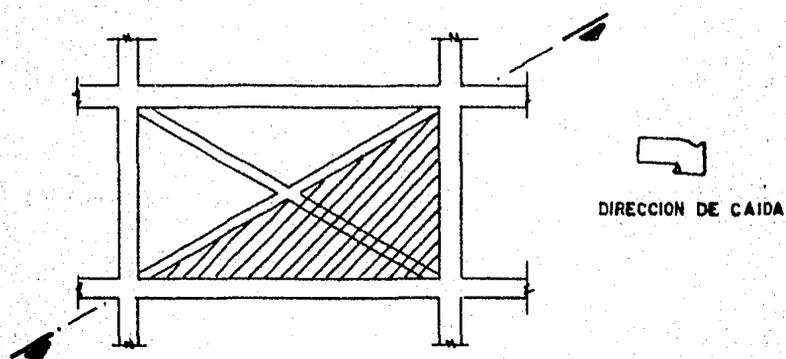
La dirección de caída del edificio se puede proyectar y controlar con la ubicación de explosivos y detonándolos a diferentes tiempos con los estopines de retardo y a un más con preparaciones como la de remover muros o no, etc., pero aún así existen riesgos de que el edificio caiga hacia otro lado no proyectado por varias causas, entre las principales pueden ser estructuras muy dañadas, las cuales ya se comportan como mecanismos, edificios desplomados o con sus marcos deformados por desplazamientos laterales sobre todo en columnas, o porque en planta son irregulares y presentan durante la caída zonas débiles o fuertes, etc. Este riesgo puede causar daños a otras estructuras vecinas o bloquear el tránsito de alguna avenida importante.

Para evitar o disminuir dicho riesgo, se puede utilizar el cableado, que consiste en fijar cables de acero tensados en columnas y muros (ver capítulo IV. 1.-) para asegurar la dirección de caída, dicho cableado al ir tenso puede dañar la estructura que esté en buenas condiciones o peligrar la estabilidad de ésta, si ya está dañada, cuando se tensa demasiado o se requiere de mucho cableado, tanto localmente como en conjunto, por lo tanto el estructurista deberá especificar las fuerzas de tensión que haya que aplicar al cableado.

En general los barrenos se podrán dosificar con explosivos de acuerdo al tamaño de la columna utilizando un factor de carga debido a la alta densidad del explosivo. Dicha dosificación en general resulta sobrada y se puede reducir basándose en pruebas en sitio, es decir, se elige una columna o dos internas y se detonan con diferentes dosificaciones, se estudian los resultados y se -



MARCO CON SU PLANO PERPENDICULAR  
A LA DIRECCION DE CAIDA



MARCO CON SU PLANO PARALELO  
A LA DIRECCION DE CAIDA

ajusta la dosificación. Dichas pruebas deberán ser estudiadas previamente, - ya que podrían producir un colapso parcial o total de la estructura, por lo - tanto el estructurista deberá de estimar que la columna que se detone distri- buya su trabajo a los elementos resistentes adyacentes, de lo contrario habrá que prescindir de dichas pruebas.

La caída del edificio provoca con su impacto un sismo local, el cual debe de considerarse si existen estructuras cercanas dañadas, teniéndolas que prote- ger con apuntalamiento o inclusive repararlas previamente a la detonación. En realidad dicho sismo es pequeño y no problemático.

## C A P I T U L O   I V

### PREPARACIONES

#### IV.1.- BARRENACION, CABLEADO, CORTES Y DEMOLICIONES MENORES.

Para poder determinar claramente como actuará el explosivo en el punto de su aplicación, se deben de delimitar con exactitud las especificaciones de barrenación, cortes y demoliciones menores y el cableado, si este último se considera necesario.

El aprovechamiento técnico de la fuerza generada en la detonación de un explosivo, debidamente iniciado, nos permite poder lograr una buena fragmentación, ya que ésta depende del uso final del producto explosivo y de la calidad de las preparaciones que se hayan realizado.

Primeramente se describirá la etapa de barrenación, que son el punto estratégico en donde se colocan las cargas del explosivo, el cual produce la destrucción de las columnas del edificio y por lo tanto la eminente caída de éste.

Características y localización de barrenos.

Si para demoler una columna, que son los soportes del edificio, cargamos de-

bidamente el barreno perforado, lograremos que el explosivo trabaje efectivamente accionado por su iniciador, con lo que se producirá la demolición del área circundante a éste. Así en forma programada y con la técnica apropiada se producirá la misma acción y resultado en los barrenos complementarios de cada columna cargada con lo que se logrará la total destrucción de éstas. Es aquí donde reside la importancia de lograr una buena calidad en las barrenaciones para poder obtener resultados satisfactorios.

Conociendo las características del explosivo, sus accesorios y dándoles el uso planeado con el principio anterior de demolición de columnas, la caída se cuencial y direccional del edificio se realizará de acuerdo a lo planeado.

La distribución de los barrenos en toda la altura de la columna dependerá del entrepiso en cuestión, ya que para sótano y planta baja el número será mayor, del orden de cuatro o cinco; mientras que en los niveles superiores, dos o tres. Lo anterior se hace para aumentar la fragmentación, ya que al pulverizar las columnas de sótano y planta baja aumenta la velocidad de caída de los escombros de los niveles superiores.

En la fig. IV.1. se muestra la distribución de barrenos en las columnas. --- Cuando se tengan cinco barrenaciones estas se distribuirán de manera uniforme a toda la altura de la columna, separándolos 30 cm. del lecho bajo de la losa del techo y del piso. En el caso de tener un número menor de perforaciones, éstas se harán a manera de dejar una separación de 30 cm. del nivel de piso a el centro de la primera barrenación y separados centro a centro, uno del otro, a cada 60 cm. (ver fig. IV.1.).

Siempre es conveniente que los barrenos se realicen en forma horizontal y lo mas centrados posibles; en columnas con dimensión pequeña en donde el acero de refuerzo impida la barrenación será conveniente remover el acero cortándolo con soplete. Se podrá barrenar la columna por un lado del acero y hacia el centro, tratando de lograr la profundidad especificada. Si el acero longitudinal se encuentra difícil de remover se podrá barrenar alternadamente a los lados del acero hasta lograr la profundidad deseada.

La profundidad de los barrenos dependerá de la sección de columna que se tenga, pudiéndose encontrar diferentes tipos en un mismo edificio por demoler; -

### ALTIMA DE BARRENOS (ELEVACIONES)

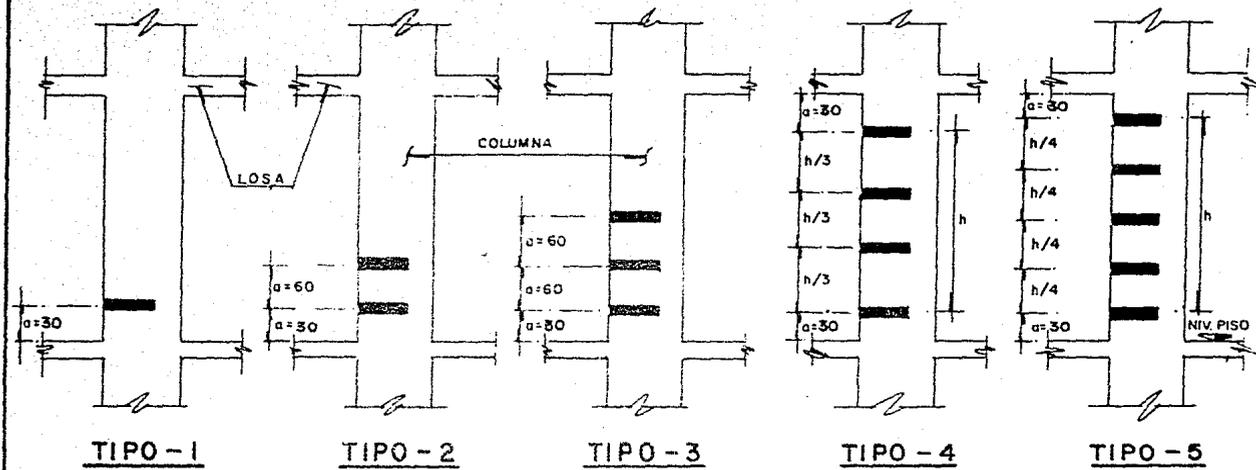


FIG. IV. 1.) - DISTRIBUCION DE BARRENOS

para columnas cuadradas se barrenará a un 75% de la profundidad de la sección de ésta; para columnas rectangulares el porcentaje de profundidad será el mismo pero la barrenación será en dirección paralela a la dimensión más grande, y por último en columnas circulares, la profundidad será del 85% de su diámetro (ver fig. IV.2). El diámetro de los barrenos será de 3.18 ó 3.50 cm. ---- (1 1/4" ó 1 3/8").

Estas profundidades permiten la demolición total de las columnas y además son adecuadas para realizar el cargado y colocar la cantidad de explosivos suficiente y necesario para cumplir con el objetivo.

Es importante comentar que en la estructuración de algunos edificios aparecen columnas con dimensiones muy robustas, sobre todo en planta baja, por lo que al demoler estas es necesario determinar el número y localización de barrenos de manera particular.

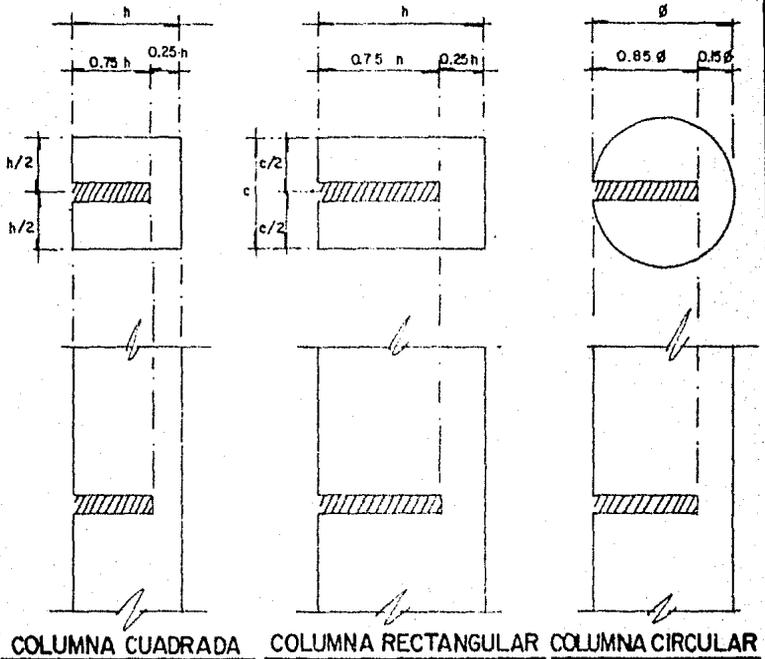
Para estos casos es muy común realizar un número elevado de barrenaciones pero colocados de manera estratégica y con tiempos de detonación diferentes, para lograr una semifragmentación y después la total destrucción.

En las estructuras con sótano nunca es recomendable barrenar las columnas perimetrales, ya que éste funciona como "cajón" para recibir el escombros de todos los niveles superiores. No siempre todas las columnas de un nivel preparado son barrenadas, esto está en función de la dirección de caída.

A continuación se mencionan los principios de barrenación que son guías que deben ser observadas en conjunto para poder lograr el objetivo primordial de una buena barrenación para la demolición de un edificio con explosivos:

- El área circundante de las columnas por barrenar, debe ser inspeccionada de manera que no existan materiales que obstaculicen el buen trabajo del personal encargado de llevar a cabo dicha preparación (no debe haber muros divisorios, plafones, etc.).
- Al empezar un nuevo barreno nunca se perfore sobre un barreno quedado, de tal forma que se debe siempre de tratar de barrenar en donde ya se haya -- iniciado, aún después de encontrar el armado longitudinal y transversal de

## BARRENOS EN COLUMNAS



### PROFUNDIDAD DE BARRENOS :

COL. CUADRADA 75% DEL ANCHO.

COL. RECTANGULAR 75% PARALELO A LA DIMENSION MAS GRANDE.

COL. CIRCULAR EL 85% DEL DIAMETRO.

### ESPECIFICACIONES :

A) TODOS LOS BARRENOS SERAN DE 1 1/4 Ó 1 3/8 PULGADAS DE DIAMETRO.

B) TODAS LAS BARRENACIONES SERAN HACIA EL CENTRO DE LA COLUMNA, SI SE ENCUENTRA REFUERZO SE BARRENARA A UN LADO DE LA VARILLA COMPENSANDO LA PROFUNDIDAD Y DIRIGIENDOLO HACIA EL CENTRO.

**FIG. IV.2.). PROFUNDIDAD DE BARRENACION**

la columna, el cual debe ser cortado con soplete.

- Perforar todos los barrenos a la profundidad requerida, todos los barrenos deberán tener el mismo fondo sobre un plano vertical lo mejor que se pueda.
- Todos los barrenos deben ser paralelos, evitar desviar los barrenos hacia cualquier extremo.
- Después de terminar la perforación limpiar todos los barrenos con aire antes de cargar y verificar la profundidad especificada en las preparaciones.
- Comenzar la barrenación y preparaciones generales de los niveles superiores del edificio y continuar hacia los niveles inferiores.

Si los principios de barrenación anteriormente descritos se cumplen paso a paso se ahorrará tiempo y dinero.

Una buena barrenación no es solamente esencial para obtener resultados satisfactorios en una demolición, sino que también es necesaria para conducir en forma segura una operación con explosivos. La mejor manera de eliminar accidentes en barrenación es asegurándose de que todos los explosivos cargados en éstos detonen exitosamente; sin embargo, si ocurren fallas, el explosivo sin detonar debe localizarse y manejarse adecuadamente antes de hacer regresar al personal y/o al equipo para remover escombros al área de disparo. El operador de los cargadores y bulldozers debe de estar constantemente en alerta de explosivos no detonados en la rezaga y especialmente cuando resultados diferentes a los usuales en el disparo indique la posibilidad de explosivos sin detonar; regularmente en la demolición de edificios este problema se presenta muy raras veces.

#### Cableado.

Por lo general, en los edificios demolidos con explosivos, se utiliza una preparación adicional que es el cableado. La función de éste es el de evitar la

posible caída de las fachadas perimetrales hacia colindancias cercanas, con lo que se provoca un "jalón" en éstas, en dirección del lugar donde caerá el escombros, la cual ya debe estar determinada con anterioridad.

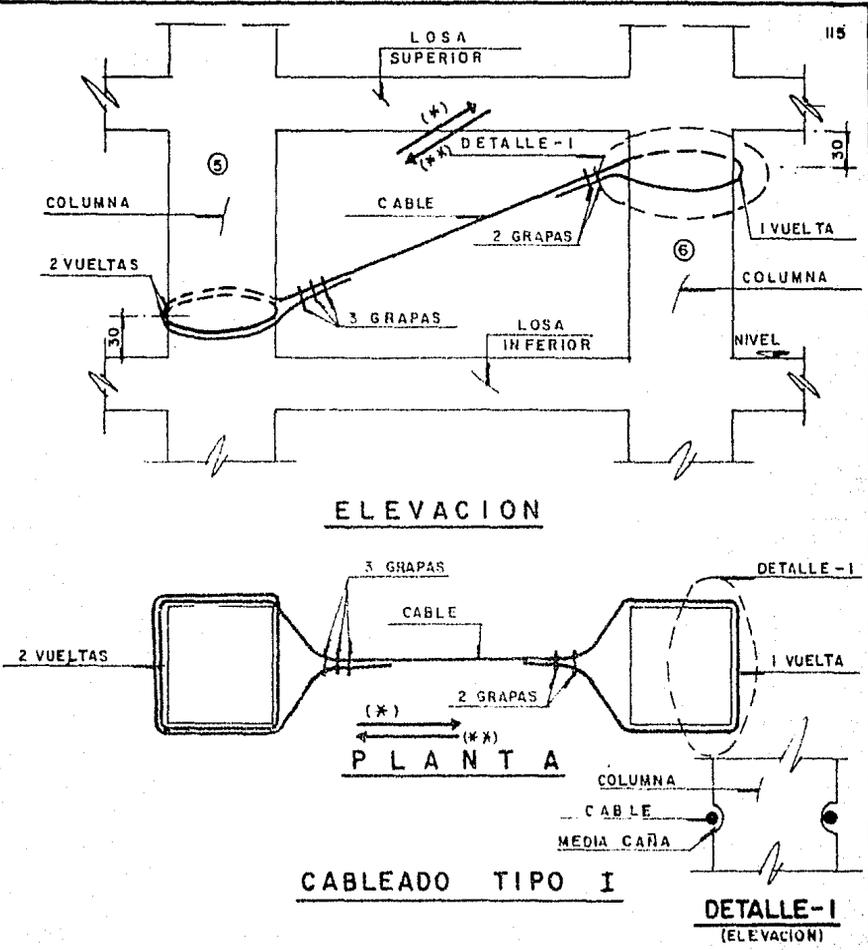
Regularmente la colocación del cableado se realiza en los niveles donde no hay barrenación y el número de éstos es muy variado dependiendo del estado estructural del edificio, la dirección de la caída y la cercanía de las colindancias. Puede abarcar una o varias crujiás por lo que se pueden tener columnas a las cuales lleguen dos tensores, uno en la parte inferior y otro en la superior.

Existen algunas excepciones en donde la barrenación en un determinado nivel va acompañado del cableado, esto se hace principalmente cuando las dimensiones de las columnas son muy grandes o robustas y por lo tanto es necesario aunar una fuerza adicional, que es proporcionada por los cables, para asegurar su caída.

De acuerdo a la resistencia del concreto y al acero de refuerzo de las columnas, existen 3 tipos de cableado, los cuales pueden utilizarse indiferentemente, ya que todos cumplen con su objetivo cuando han sido colocados de una manera satisfactoria. A continuación se hará la descripción de cada uno de éstos.

Para la colocación de Cableado del tipo I es necesario realizar "medias cañías" o ranuras en la columna, para sujetar firmemente a el tensor y evitar su desplazamiento a la hora de la demolición, por lo que su profundidad debe ser la necesaria para evitar este problema. En la fig. IV.3.a, se presenta un esquema claro de esta preparación. El cable tipo utilizado es el de acero de 1.9 cm. (3/4") de diámetro, el cual es muy comercial. Regularmente se utiliza cuando el armado longitudinal de las columnas es excesivo y además la resistencia del concreto elevada.

El cableado tipo II se utiliza cuando la resistencia del concreto de las columnas no es muy elevada y por lo tanto es fácil realizar una barrenación, cargada hacia un lado, para pasar por éste, el cable que dará una vuelta completa a la columna. En este amarre se ahorrará un poco de cable en compara-



**ELEVACION**

**PLANTA**

**CABLEADO TIPO I**

**DETALLE-1**  
(ELEVACION)

**UBICACION:** EN LOS NIVELES Y ENTREJES QUE SE INDIQUEN, SE FIJARAN EN LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR ENTRE DOS COLUMNAS COMO SE INDICA EN LAS VISTAS.

**ELEMENTOS:** CABLE DE ACERO TENSADO CON UNA FIJACION INFERIOR DE DOS VUELTAS Y TRES GRAPAS Y UNA SUPERIOR DE UNA VUELTA Y DOS GRAPAS. AMBAS FIJACIONES LLEVARAN MEDIA CAÑA EN LA COLUMNA PARA ATORNAR LAS VUELTAS DEL CABLE.

**ESPECIFICACION:** CABLE  $\phi = 3/4"$

- (\*) AVANCE DE DETONACION
- (\*\*) DIRECCION DE CAIDA
- O RETARDO

**FIG. IV. 3. a)...CABLEADOS**

ción con el tipo I, ya que solamente consiste en una vuelta y no en dos. En la fig. IV.3.b., se presenta el esquema de este tipo de preparación. El cable utilizado es de acero de 1.9 cm. (3/4") de diámetro y se coloca de manera que la tensión no sea excesiva, tratando de no provocar esfuerzos adicionales a las columnas.

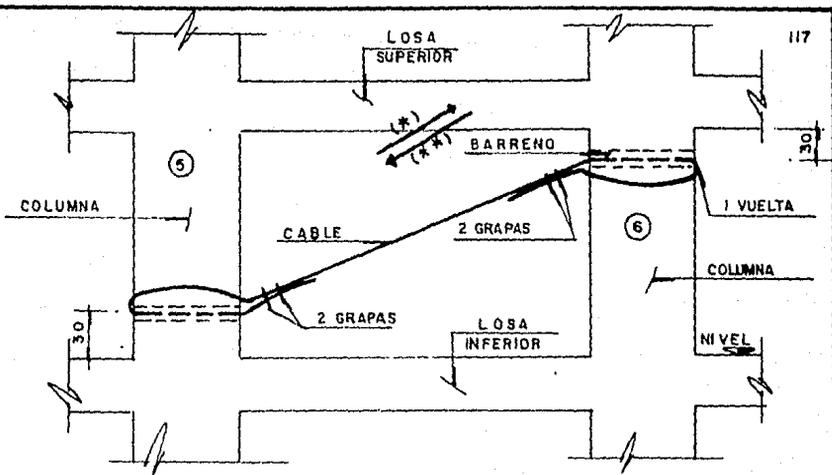
El cableado tipo III es de manera similar al tipo II, solamente que la longitud de éste aumenta, ya que se liga con el extremo superior de la columna de la crujía que conforman pero del nivel inmediato inferior. En la fig. ----- IV.3.c., se observa este tipo de amarre especial, el cual es utilizado muy raras veces y solamente cuando la altura del entrepiso del edificio por demoler no es muy alta, el claro de las crujías es excesivo, además las columnas son muy robustas y la losa flexible. Es necesario perforar una pequeña parte de la losa para permitir el paso del cable, por lo que la preparación consume mayor tiempo que la tipo I y II.

Para que los cables trabajen de manera adecuada en la demolición del edificio es necesario determinar primeramente la secuencia de caída, ya que de ésta depende que realicen la función para lo que fueron colocados. Por ejemplo en la fig. IV.3.a. es necesario que la columna de la izquierda sea demolida primeramente, por diferencias de décimas de segundo, antes que la de la derecha en el entrepiso inmediato inferior para que el cable tienda a "jalar" hacia ella al eje de columnas de la derecha y con ello se cumpla la caída en el sentido inicialmente planeado.

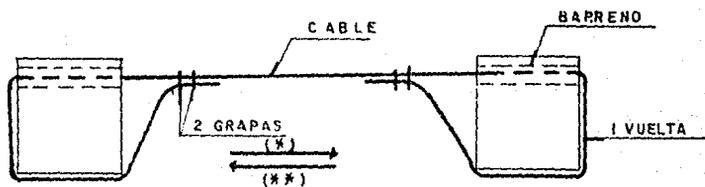
No es recomendable abusar del uso del cableado, ya que si éste es excesivo -- puede haber problemas de "pateo" a la hora de la caída que ocasionaría daños en las construcciones vecinas, principalmente si éstas están muy cerca del -- edificio por demoler. Los tipos de cableado anteriormente descritos son aplicables para cualquier sección de columnas ya sean cuadradas, circulares o rectangulares.

Cortes y demoliciones menores.

En algunas ocasiones el edificio por demoler presenta en su estructuración -- muros de rigidización o de concreto de un espesor considerable en todos sus -



**ELEVACION**



**PLANTA**

**CABLEADO TIPO II**

UBICACION: EN LOS NIVELES Y ENTREJES QUE SE INDIQUEN, SE FIJARAN EN LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR ENTRE DOS COLUMNAS COMO SE INDIQUE EN LAS VISTAS.

ELEMENTOS: CABLE DE ACERO TENSADO CON UNA FNACION TIPO DE UNA VUELTA ATRAVESANDO LA COLUMNA A TRAVES DE UN BARRENO Y DOS GRAPAS COMO SUJECION.

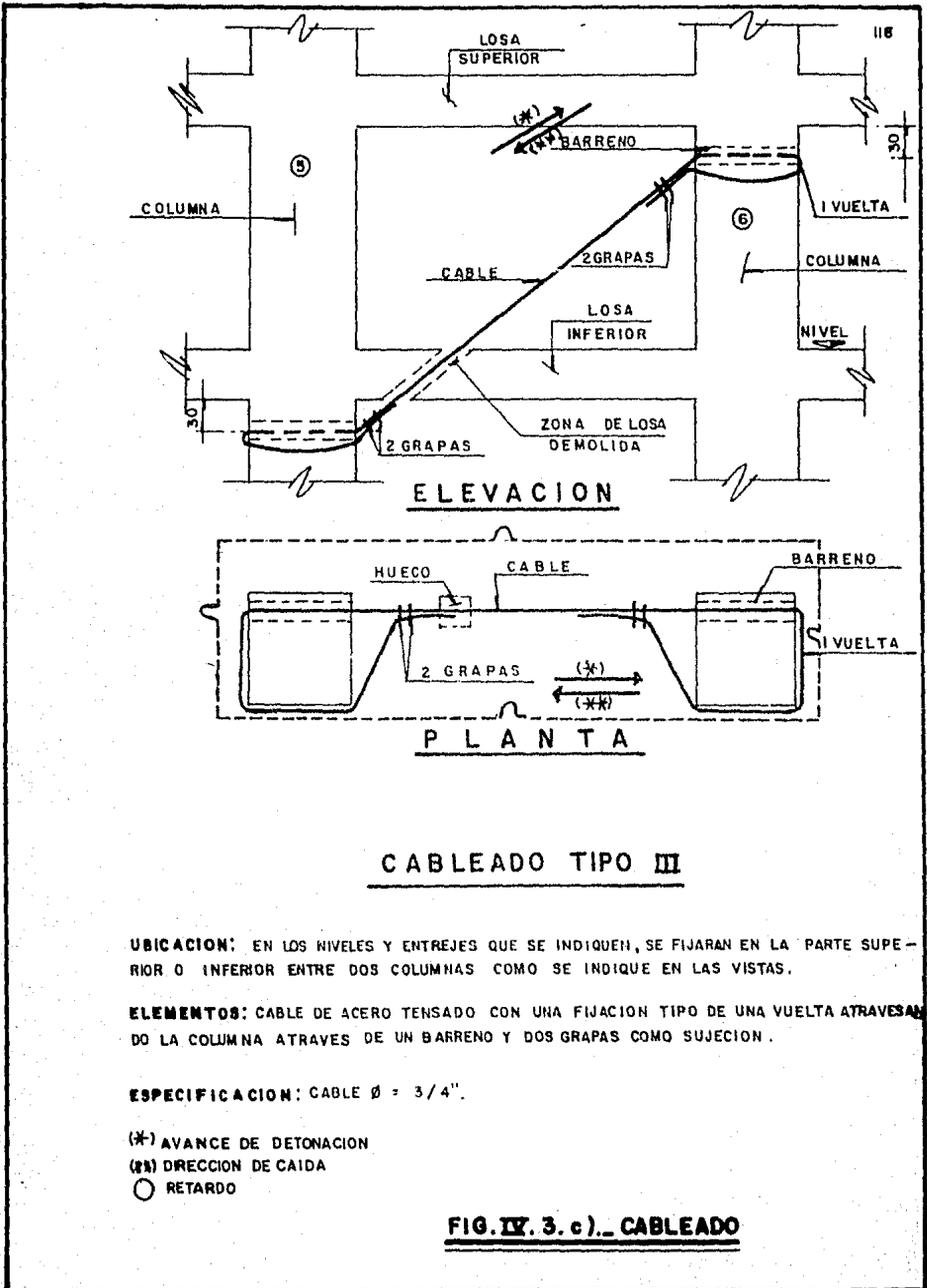
ESPECIFICACION: CABLE  $\varnothing = 3/4"$

(\*) AVANCE DE DETONACIONES

(\*\*) DIRECCION DECAIDA

○ RETARDO

**FIG. IV. 36). CABLEADO**



niveles o en la gran mayoría, por lo cual es fundamental que éstos sean demolidos totalmente en los pisos donde se vaya a barrenar y cargar; en los niveles restantes es recomendable debilitar éstos mediante cortes en forma de cuña según el plan direccional de caída para que de esta manera no provoquen -- una desviación en la masa del edificio que cae, que pueda ocasionar problemas con las construcciones cercanas.

El tratamiento adecuado a estos muros estructurales es muy importante y laborioso, por lo cual es necesario delimitar un plan de ataque con la debida programación de obra (equipo, mano de obra y maquinaria) para no retrasar el -- avance de las preparaciones, ya que de lo contrario no se podrá realizar la demolição en la fecha planeada debido a problemas para determinar la caída del edificio que podría ser impredecible.

Otra consideración importante que hay que señalar es cuando el edificio por demoler tiene separaciones muy reducidas con sus colindancias, y por lo tanto es necesario realizar demoliciones parciales del edificio en dichos puntos.-- Estas se llevan a cabo con el método tradicional y por lo regular consisten -- en desmantelar la mitad de una crujía sin realizar el corte del armado o acero de refuerzo de losas y trabes, de tal manera que esa parte de la estructura sea más ligera y que en caso de existir algún "pateo" del edificio al ---- caer, el armado del corte realizado se doble y dicho eje de columnas sea jalado por cables también previamente colocados hacia el centro del edificio y -- evitar la caída hacia las construcciones cercanas que no se quieren o deben -- dañar.

Quando el edificio tenga sótano se demolerán todos los muros interiores existentes (concreto y ladrillo) incluyendo los del cubo de elevadores y escaleras, pero sin afectar los perimetrales; en todos los niveles superiores por cargar, se demolerán muros interiores y exteriores existentes sin excepción.-- Si es posible se tratarán de utilizar los muros exteriores perimetrales como protección, por lo cual se deberá demoler el muro exterior en la parte por -- donde cubra a la columna para permitir el colocado de la protección, esto último se podrá aplicar siempre y cuando no exista peligro para el tránsito --- vehicular y/o peatonal que ponga en peligro su seguridad con la posible caída de materiales.

Si existen rampas en el edificio por demoler, será necesario ranurar éstas, - con tal de que no vayan a rigidizar de alguna forma a la estructura a la hora de la caída; las guías metálicas de los elevadores también serán cortadas con soplete en los niveles preparados en una longitud de 120 cm., nunca deben tocarse los cables de este sistema para evitar accidentes. También se ranurarán las rampas de escaleras de concreto reforzado en los niveles cargados sin cortar el acero de refuerzo.

Si se considera necesaria la adición de cables en algunos niveles, se demolerán los muros interiores para tener el área suficiente para maniobrar en su colocación, pero no más de lo necesario.

Los muros tanto de tabique como de concreto pueden removerse más económicamente mediante el uso de explosivos, siempre y cuando, la losa en la que se apoyen tenga cuando menos 30 cm. de espesor. Con un espesor menor a éste, el -- quebrado por medios mecánicos es generalmente más práctico.

Los muros de tabique son por lo general más fáciles de volar que los de concreto. El método preferido es perforando una hilera de barrenos cerca del -- fondo del muro, aproximadamente a una profundidad de  $3/4$  partes de su espesor; Como regla general, el espaciamiento entre los barrenos varía entre 0.90 y -- 1.20 metros, y la carga de  $1/2$  a 1 cartucho de explosivo, dependiendo de la - condición del muro y la posibilidad de daño a estructuras vecinas. El mejor procedimiento es efectuar unos pequeños disparos de prueba, usando un factor de carga de 0.150 Kg por metro cúbico que puede servir como guía.

El explosivo puede ser casi de cualquier grado de potencia media que se en-- cuentre disponible en cartuchos de 3.18 cm. (1  $1/4$ " ) de diámetro. Cuando se tengan muros de más de 1.5 m. de altura probablemente se necesiten hileras ho- rizontales adicionales de barrenos para romper la mampostería a un tamaño ade- cuado para su manejo.

Con los muros de concreto, se sigue el mismo procedimiento que para los de ta- bique, excepto que por lo general se requiere más explosivo y se deben em--- plear espaciamientos menores. El concreto reforzado, es aún más difícil de - demoler y se puede esperar una cantidad considerablemente mayor de proyecti-- les. Además de las cargas comparativamente grandes, a menudo se utiliza un -

soplete para cortar las varillas de refuerzo al barrenar.

Los barrenos deben cebarse con estopines eléctricos. Si no existe posibilidad de daño a la propiedad vecina o al personal que participa en el operativo, todos los barrenos pueden dispararse al mismo tiempo. De otro modo, tienen que dispararse grupos más pequeños de barrenos o uno solo a la vez. Deben colocarse frente a la voladura o sobre ella, mallas para minimizar el lanzamiento de fragmentos de mampostería o concreto.

Regularmente la demolición de muros interiores y exteriores en los edificios demolidos que se tratan en este escrito se realizaron con medios mecánicos y manuales por ser más económicos y prácticos, sin que esto quiera decir que no se pueda utilizar el método de demolición con el sistema de explosivos.

El equipo o maquinaria utilizada para las preparaciones en los edificios por demoler, juega un papel importante en los resultados finales. Para cumplir las especificaciones requeridas, es necesario conocer las diversas técnicas de construcción y poder determinar cual equipo proporciona mayores ventajas.

El mejor resultado se logra mediante la mano de obra en su forma más elemental, en combinación con equipos y maquinaria ligera, ya que se obtiene un mayor rendimiento que proporciona un menor tiempo de ejecución y también de costo. El equipo recomendable por utilizar en demoliciones con explosivos tratados en este escrito es:

- Compresor grande para conectar varias perforadoras o martillos neumáticos. Son máquinas de gran empleo en obras diversas de construcción que comprimen y almacenan aire para alimentar herramientas neumáticas; tales como: perforadoras, rompedoras, etc. Los compresores son siempre portátiles, van soportados en un chasis con 2 ó 4 llantas, para ser remolcados.

Consta de un motor de combustión interna (diesel) que hace funcionar el sistema de compresión del aire, el cual envía a través de unas mangueras de hule hasta las herramientas. Sus partes esenciales son: el motor, el compresor y el tanque o receptor de aire, que sirve para regularizar la descarga.

Además de estas partes esenciales pueden considerarse como elementos necesarios: el regulador o gobernador, que incrementa, disminuye o para la fase de compresión; la válvula de seguridad, que evita presiones peligrosas en el tanque; y los manómetros para el control de las presiones en las herramientas de trabajo. Así mismo, en el tanque se ubica la válvula de salida a la que se conecta la tubería de conducción que alimenta las herramientas.

Para tener un buen rendimiento de los compresores se hacen las siguientes consideraciones: nivelar el compresor lo mejor posible, seleccionar adecuadamente el diámetro de la tubería de distribución, colocar el compresor lo más cerca posible de las herramientas a fin de acortar la longitud de las tuberías, el tendido de la tubería debe ser lo más recto posible, no sobrecargarlos nunca con demasiadas herramientas y extraer del compresor el agua condensada y conservar todas las válvulas perfectamente ajustadas.

Los compresores utilizan aire comprimido a  $7 \text{ Kg/cm}^2$  y se clasifican por el volumen de aire que a la presión señalada, producen en un minuto ( $\text{ft}^3/\text{min.}$  o  $\text{m}^3/\text{min.}$ ). Su capacidad deberá estar acorde con el número de herramientas -- que ha de alimentar (Foto IV.1.).

— Perforadoras. Se utilizan para hacer los barrenos destinados a las cargas explosivas. Se clasifican por su peso, en: pesadas, medianas y ligeras. En los edificios demolidos con explosivos se uso el de tipo mediana. Dada la función que desempeñan en cuanto a su peso; la cantidad de aire a presión requerida, será mayor en las de mayor peso y menor en las ligeras.

Las herramientas de perforación estan formadas por un pistón, alojado dentro de un cilindro alargado, que produce los efectos de percusión y rotación, a través de una flecha y son transmitidos al acero de barrenación o a la barreta, sujetados a la perforadora por medio de un "mandril o chuck". Las pistolas perforadoras tienen una pequeña válvula, que permite la expulsión del aire a través del acero de barrenación, que se canaliza para conservar limpia la broca y quitar el polvo acumulado en el barreno (Foto IV.2.).

— Rompedoras. Herramienta que se acciona por el sólo efecto de percusión. Consta de una barreta, en forma hexagonal u octagonal de acero, rematada en

punta, con la cual perfora. Dentro de estas, existe un tipo de autoimpulsor que lleva acoplado a uno de sus lados. Se seleccionan específicamente para romper estructuras de concreto evitándose el uso de explosivos. Su máximo rendimiento se obtiene si se observan las siguientes recomendaciones: utilizar siempre puntas de tamaño adecuado y conservarlas bien afiladas, emplear simultáneamente varias herramientas rompedoras con lo que se mejora la acción, actuar sobre trozos pequeños, conservar todas las uniones bien ajustadas y comprobar frecuentemente la tubería del aire hasta el empalme del martillo a fin de asegurarse de que no existe ninguna fuga, y finalmente asegurarse de que los operarios solo guíen las herramientas, pues no deben accionarlas hacia abajo ni apoyarse en ellas. (Foto IV.3.).

- Pierna neumática. Es un elemento auxiliar de las perforadoras de barrenos, cuando es necesario usar las pistolas en posición horizontal o inclinadas hacia arriba. Se trata de un tubo alargado, que se acopla, mediante una articulación a la pistola. Esta le permite pasar el aire comprimido a través de una válvula, que hace accionar una barra central que entra y sale del tubo por el extremo opuesto a la articulación, para darle soporte y a la vez empuje a la pistola; lo que hace que el operador tenga más facilidad para barrenar (Foto IV.4.).
- Acero de perforación. Son barras de acero al bajo carbón, huecas para permitir el paso del aire, de sección generalmente hexagonal con longitudes variables (de 61 a 122 cm.). Se componen de tres partes esenciales: zanco, barra y rosca. Para la rotura del concreto, el acero de perforación requiere de brocas de carburo de 1 1/4" ó 1 3/8" de diámetro. Estas son insertos de tungsteno que se fijan a la barra o se enroscan en ella. Los promedios de barrenación varían según: las características del concreto, tipo de equipo y el manejo y aprovechamiento de este último. (Foto IV.5.).

#### IV.2.- PROTECCION.

La protección en las columnas barrenadas y cargadas es de fundamental importancia, ya que ésta se encarga de evitar la salida del material expulsado por la explosión, como es el concreto y acero de refuerzo entre otros materiales,



FOTO IV.1. COMPRESOR GRANDE



FOTO IV.2. PERFORADORA



FOTO IV.3. ROMPEDORA

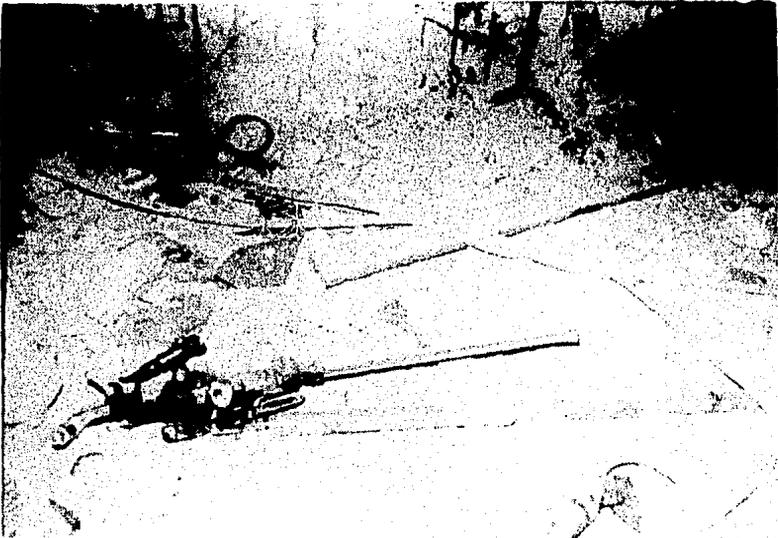


FOTO IV.4 PIERNA NEUMATICA



FOTO IV.5. ACERO DE PERFORACION

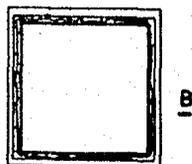
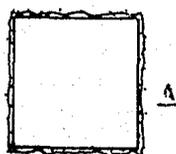
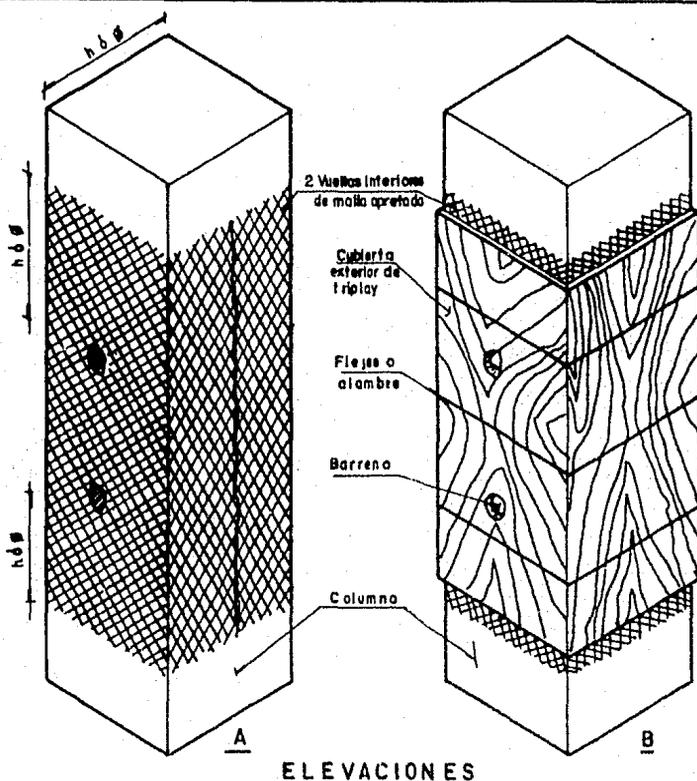
que pueden ser peligrosos para la seguridad pública del lugar y además provocar daños a las estructuras cercanas al ocasionar la rotura de cristales en ventanas y puertas.

Otro papel importante que juega la protección que se utiliza en una demolición es el disminuir el ruido provocado por el explosivo a la hora de la detonación, por su respectivo iniciador, con lo que además se disminuye la onda del golpe de aire que puede llegar a ser considerable si no se toman los preparativos necesarios, y ocasionar que cristales que se encuentren en el frente de onda se rompan.

Son principalmente dos los tipos de protecciones utilizadas en columnas barrenadas que solamente se diferencian por el material envolvente de éstas y que cumplen satisfactoriamente su papel con la misma eficiencia. A continuación se hará la descripción de cada una de éstas.

La protección del tipo I consiste en dos vueltas de malla ciclón alrededor de la columna, sin importar que tipo de sección tenga, que queden lo más apretadas posibles a ésta y con una holgura entre el último y primer barreno, hacia arriba y abajo respectivamente, de una longitud  $h$  ó  $\phi$ , donde  $h$  es la sección mayor de la columna en el caso de ser rectangular y  $\phi$  el diámetro de ésta si es circular; además se coloca una cubierta envolvente de madera o triplay de  $3/4"$  de espesor de buena calidad sujeta con flejes, de manera que esta no se desplace. Después de colocar la protección en la columna es necesario limpiar el área de los barrenos para que la malla y el triplay no estorben a la hora de realizar el cargado con explosivos en las mencionadas perforaciones (fig. IV.4.a.).

La protección del tipo II en las columnas barrenadas consiste en una vuelta de malla ciclón alrededor de la columna colocada de la misma forma que en la protección tipo I, después otra vuelta de lámina acanalada o pintor, sujeta con fleje para evitar su movimiento y finalmente una de malla ciclón, pero dejándola más floja que la primera para que sirva como retenedor de material expulsado (fig. IV.4.b.). De igual forma, después de colocar la protección a las columnas se debe de limpiar el área de cada uno de los barrenos con soplete para poder realizar el cargado sin contratiempos y que el material envolvente no estorbe.



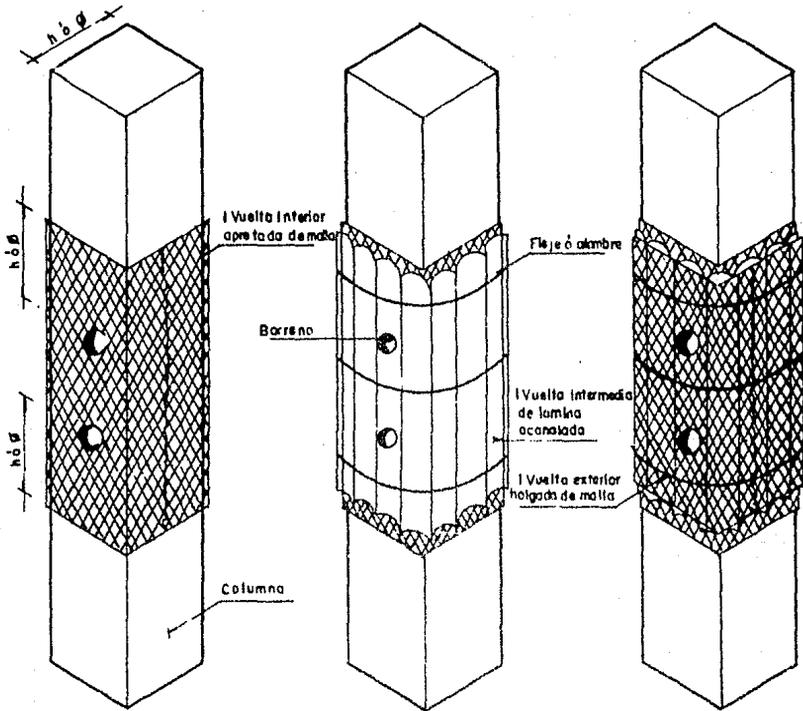
## SECCIONES

PROTECCION TIPO I EN COLUMNAS BARRENADAS**NOTAS:**

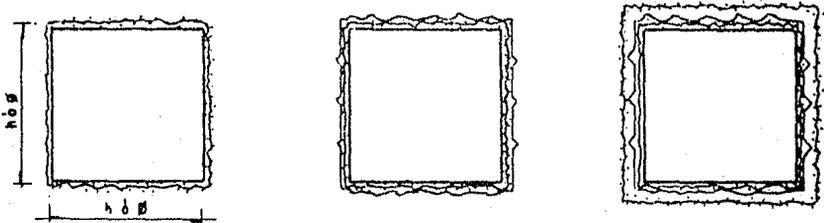
UBICACION: En planta todo el perímetro y en elevación a la altura de los barrenos según especificaciones.

ELEMENTOS: Dos vueltas interiores apretadas de malla ciclón y una cubierta exterior de triplay fijada con alambre o flejes.

FIG. IV. 4.a.) PROTECCIONES.



## ELEVACIONES



## SECCIONES

PROTECCION TIPO II EN COLUMNAS BARRENADAS**NOTAS:**

**UBICACION:** En planta toda el perímetro y en elevacion a la altura de los barrenos segun especificaciones.

**ELEMENTOS:** Una vuelta interior apretada de malla ciclón, una vuelta intermedia de lamina acanalada fijada con flajes ó alambre y una vuelta exterior holgada de malla de ciclón.

FIG. IX. 4. b) PROTECCIONES

La última protección que debe de realizarse en todo edificio por demoler con explosivos, se localiza en la planta baja, que es el entrepiso regularmente -- más cargado junto con el sótano, y en el que se deben de tomar las debidas pre cauciones. Esta protección consiste en una cortina colocada en todo el perí metro del edificio, si ésta es necesaria, compuesta por una malla ciclón y otra de triplay de 3/4" de espesor, sujetas en la parte superior con amarres adecua dos a un cable de acero de 1/2" de diámetro; de la parte inferior (a nivel de banqueta) debe de estar libre, de tal forma que detenga la onda del golpe de - aire, disminuya el ruido y detengan los materiales expulsados por la explo sión (fig. IV.4.c.),

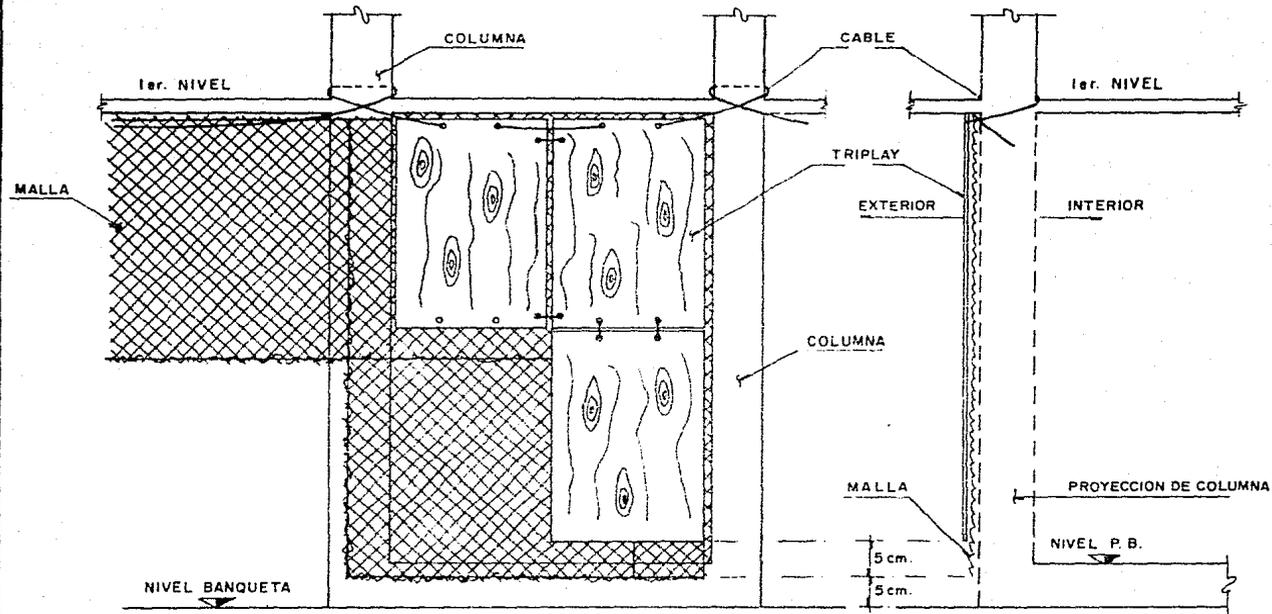
#### IV.3.- COLINDANCIAS E INSTALACIONES CERCANAS.

Un aspecto muy importante que siempre se debe de considerar en la demolición - de un edificio con explosivos, es la distancia que existe entre éste y las --- construcciones cercanas o colindantes, por que de ser ésta muy reducida, será necesario realizar preparativos especiales para evitar daños estructurales muy graves y costosos a dichas construcciones vecinas, lo que redundaría en un aumento considerable en el costo de la demolición con el sistema de explosivos y que lo haría antieconómico.

Los preparativos especiales en las construcciones cercanas regularmente de---- penden de la altura del edificio por demoler, ya que si éste es muy alto puede darse el caso de que ocurra algún "pateo" a la hora de la demolición y llegue a "tocar" a la estructura vecina, por lo cual se deberá realizar un corte parcial en ésta última a una distancia de 2 a 3 m. de la junta constructiva, entre ambas estructuras, con un ancho de 0.5 m. aproximadamente. Dicho corte se realizará a toda la longitud que sea colindante al edificio por caer y se demo lerá el concreto de losas y traveses pero sin cortar el armado de refuerzo; pre viamente a estos preparativos se debe de colocar un apuntalamiento adecuado, - como precaución, para evitar daños mayores, sí es que los hay. Una vez que el inmueble a sido demolido y no ha provocado ningún daño a la construcción cerca na, puede colocarse nuevamente el concreto que ha sido retirado en losas y tra bes, y quedar como inicialmente se encontraba.

Estos cortes en las estructuras colindantes generalmente se realizan para pre-

## PROTECCION TIPO EN PLANTA BAJA "CORTINA"



- UBICACION:** EN PLANTA EN TODO EL PERIMETRO QUE ESTE DESCUBIERTO, FACHADAS Y COLINDANCIAS.  
EN ELEVACION TODA LA ALTURA ENTRE EL 1er NIVEL DEL EDIFICIO Y EL DE BANQUETA.
- ELEMENTOS:** DOS CORTINAS INDEPENDIENTES COLGADAS UNICAMENTE DE SU PARTE SUPERIOR, UNA INTERIOR DE MALLA CICLON Y UNA EXTERIOR DE TRIPLAY.
- ESPECIFICACIONES:** TRIPLAY DE 3/4" DE ESPESOR.

**FIG. IV. 4.c) \_PROTECCIONES**

venir su daño total, ya que de suceder algún "pateo" por parte de la estructura demolida a la hora de su caída, éste no se transmita a toda ella y que la -  
dañe solamente de manera parcial y por lo tanto sea más económica su repara-  
ción. Claro está que siempre se debe de buscar el menor daño posible a cons-  
trucciones aledañas. El corte que se haga debe de abarcar todos los entrepi-  
sos de la estructura tratada incluyendo su cimentación y debe efectuarse sola-  
mente si ya se tiene colocado el apuntalamiento previamente determinado.

Regulamente este tipo de preparaciones se realizan en estructuras de 1 a 3 ni-  
veles, ya que para construcciones de mayor altura resulta antieconómico.

Cuando la separación entre el edificio por demoler y sus colindancias es rela-  
tivamente comoda, siempre es recomendable realizar un apuntalamiento sencillo  
en éstas últimas como precaución, sobre todo si son construcciones muy anti-  
guas y sin el adecuado mantenimiento.

Las recomendaciones de apuntalamiento, su diseño y distribución deben ser pro-  
porcionadas por un ingeniero en estructuras, el cual determinará también si es  
posible realizar el corte en la estructura vecina, si es que éste es necesi-  
rio.

Antes de llevar a cabo una demolición con el sistema de explosivos, es reco-  
mendable que un ingeniero en estructuras delimite si es necesario o no hacer -  
algún preparativo especial en las construcciones vecinas del edificio por demo-  
ler mediante un recorrido de inspección en el lugar.

Cuando las construcciones vecinas son también edificios altos, el daño proba-  
ble a éstos es menor, porque se busca una secuencia de caída hacia el centro -  
mismo del edificio por demoler, de tal forma que es muy difícil que se presen-  
te algún "pateo", ya que el material caerá solamente sobre el área misma del -  
edificio y los muros de construcciones vecinas ayudarán a delimitar ésta, lo -  
que podrá causarles algunos daños menores.

Además las construcciones vecinas serán cubiertas en sus ventanas y puertas --  
por triplay para evitar la rotura de cristales, que en ocasiones pueden tener  
un costo considerable, por la salida de posibles proyectiles de materiales, --  
producto de la explosión, la onda de aire o vibraciones, aunque éstas últimas

en general son pequeñas y rápidas.

Otro preparativo de protección que siempre hay que utilizar es el conchón de material fino (tezontle, arcilla, etc.) que se coloca en los lugares por donde pasan instalaciones subterráneas como son: cables de teléfonos, de electricidad, de semáforos, etc. que pueden llegar a ser dañados por la caída del edificio. Antes de depositar el material es recomendable colocar tablas de triplay que ayuden a realizar una mejor distribución de esfuerzos provocados por la caída de escombros.

Cuando existan arbotantes, semáforos, letreros luminosos o cualquier otro artefacto que sea susceptible a ser dañado se retirará de la zona de demolición y posteriormente se colocará en su lugar original.

Es recomendable colocar, a lo largo del perímetro libre del edificio, cajas de trailers vacías a una distancia aproximada de 15 m. como mínimo, ubicadas una tras de otra. El papel que juegan éstas, en una demolición, es el de disminuir el golpe de aire producido por la detonación que puede afectar y ocasionar algunos daños a las construcciones cercanas; por lo que el frente de onda es retenido o disminuido considerablemente en dicho perímetro, por lo que resulta más satisfactoria la demolición.

Por lo regular los daños a construcciones vecinas son susceptibles de ocurrir cuando la estructura por demoler se encuentra en malas condiciones o dañada. Las demoliciones que se tratan en este trabajo son de edificios afectados por los sismos de Septiembre de 1985, ocurridos en la Cd. de México, por lo que en algunas colindancias a estos edificios se realizaron algunas preparaciones de las anteriormente citadas, las cuales se describirán claramente en el capítulo sexto.

## CAPITULO V

### DEMOLICION CON EL SISTEMA DE DISPARO ELECTRICO

Dentro de todos los tipos de explosivos y sus dispositivos de iniciación, se han seleccionado para el caso particular de la demolición de edificios, los hidrogeles y los retardos, por lo tanto queda obligado el uso del sistema de disparo eléctrico.

#### V.1. MANEJO DE RETARDOS.

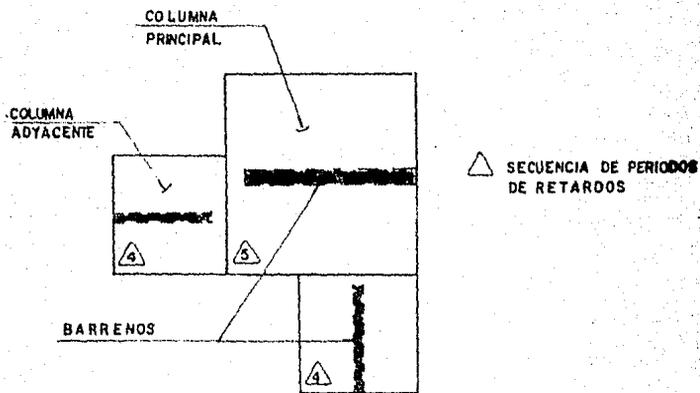
El término "retardo eléctrico", es el dispositivo de iniciación que permite una gran diversificación de aplicaciones y resultado óptimo en una voladura. Se conoce también como fulminante, estopín, detonador o cápsula.

Su aplicación inmediata puede ser local y posteriormente en conjunto, pero su objetivo principal es dar una secuencia deseada de detonaciones con iguales o diferentes intervalos de tiempo, logrando con ello el control y dirección de caída del edificio y su fragmentación.

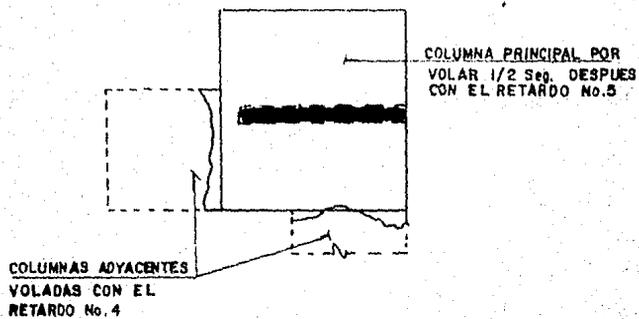
El manejo inmediato local de retardos se utiliza para remover elementos es---

estructurales o no, que estorban la libre fragmentación y desplazamiento del -- concreto del elemento estructural resistente por detonar. Por ejemplo una co l u m n a aislada debidamente barrenada y cargada no tendrá ningún impedimento al desplazamiento del concreto fragmentado provocado por la detonación, incluso el acero de refuerzo permanecerá en su lugar, quedando aislado con un mí n i m o de concreto adherido o desplazado, pero el colapso será inminente, por el contrario en el caso de un edificio con altura doble en el entrepiso de planta baja con mezzanine apoyado en columnas adyacentes a las existentes o inclu s i v e ligadas a ellas, habrá que volar primero las columnas adyacentes con un retardo de período inferior al de la columna principal, logrando que ésta que d e c o m o una columna aislada (Fig. V.1), si no se procede de esta forma, se co r r e el riesgo de que la columna no colapse o presente resistencia a la caída del edificio. Dicho procedimiento lo podemos denominar limpieza o alivio de frente y tiene innumerables aplicaciones, entre las principales aparte del -- ejemplo citado es la de demoler elementos estructurales muy robustos, los cu a l e s se pueden detonar primero en sus costados, resultando uno con dimensiones convencionales más fácil de volar (fig. V.2).

Para tirar un edificio con explosivos, bastaría con detonar las columnas de - un nivel inferior, ya sea sótano, P.B. o 1º piso, si dicha detonación es si- mu l t á n ea en todas las columnas el resultado más probable será una caída sobre si mismo con muy mala fragmentación, sobre todo de los sistemas de piso, ya - que éstos quedarán enteros uno encima de otro (fig. V.3). Para fragmentar - los sistemas de piso, bastará con detonar igualmente las columnas de un nivel inferior pero con una secuencia consecutiva creciente en períodos, es decir, - entre columna y columna habrá como mínimo un período de retardo (ver tablas II-2 y II-3), en sus detonaciones (fig. V.4), al acortamiento súbito en la -- primera columna que detona, eje A, provoca un desplazamiento vertical  $\Delta y$  en todos los niveles superiores induciendo fuertes elementos mecánicos en los -- sistemas de piso, trabes y losas, haciéndolas fallar, además de su ya inmedia to colapso por la falta de apoyo de la columna y así consecutivamente en cada cru j í a, hasta caer totalmente el edificio. Si el sistema de piso es muy flexible, como lo son las losas planas macizas o aligeradas, o con losas perime tral mente apoyadas en trabes poco aperaltadas, la diferencia de períodos en- tre co l u m n a s de cada crujía será como mínimo de un período, si el sistema de piso es más rígido con trabes aperaltadas habrá la posible necesidad de "sal-

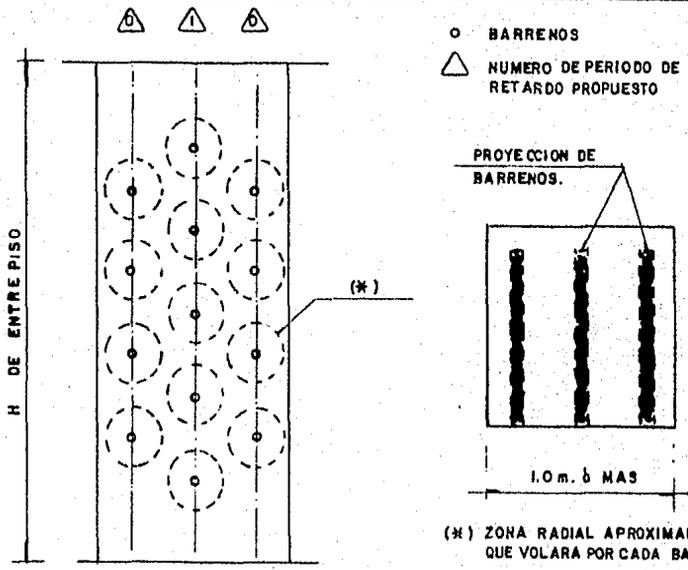


1ª ETAPA : COLUMNA PRINCIPAL CON COLUMNAS ADYACENTES INTERFERIENDO



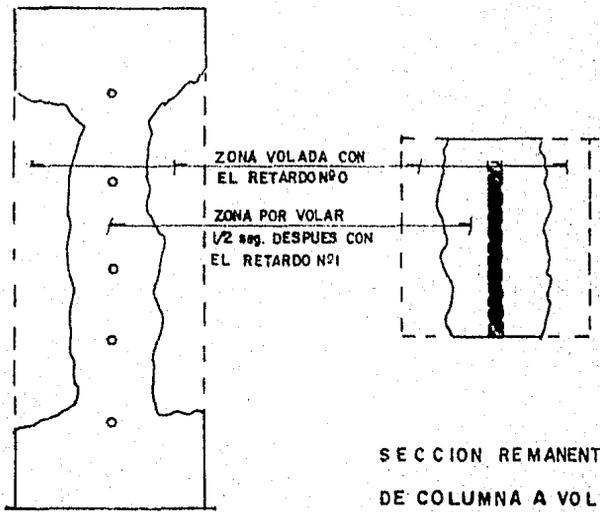
2ª ETAPA : COLUMNA AISLADA A VOLAR CON EL RETARDO No. 5

FIG. I.



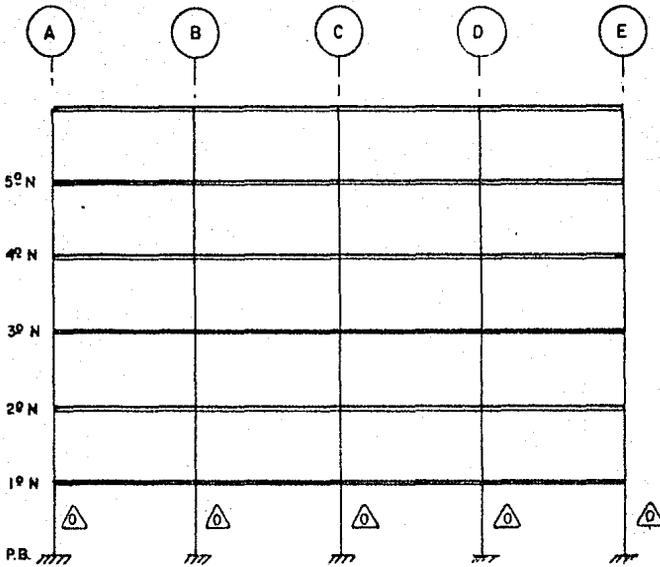
1ª ETAPA: ELEVACION DE COLUMNA A VOLAR

COLUMNA A VOLAR



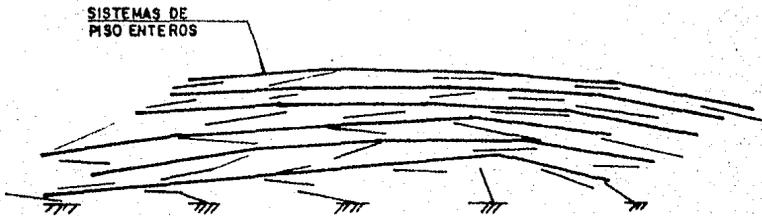
2ª ETAPA: ELEVACION DE COLUMNA REMANENTE

FIG. V. 2



△ NUMERO DE PERIODO DE RETARDO PROPUESTO

VISTA ARBITRARIA DE UN EDIFICIO POR DEMOLER



RESULTADO CON UNA DENOTACION SIMULTANEA

FIG. V. 3

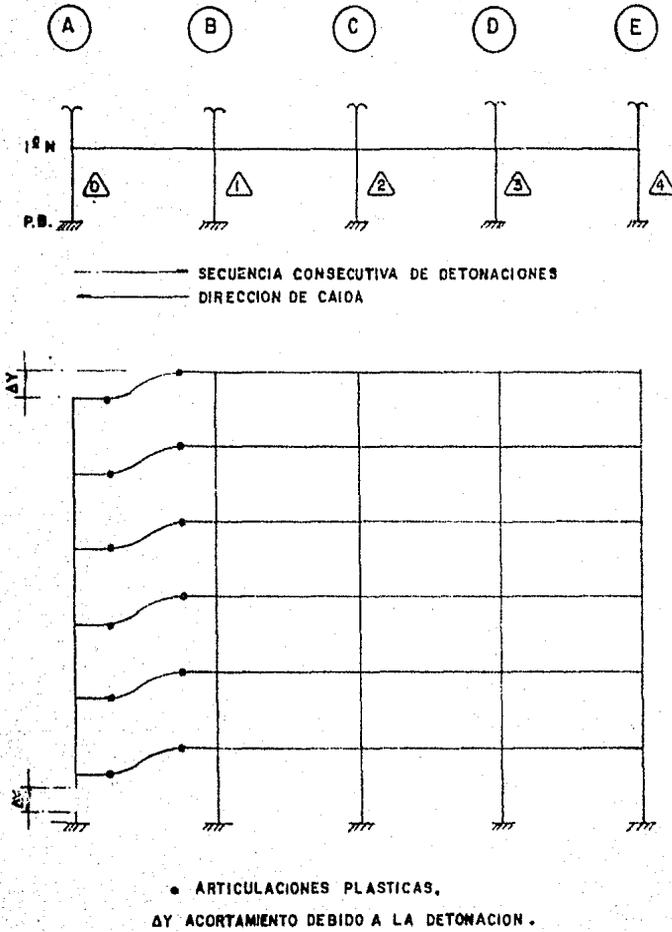
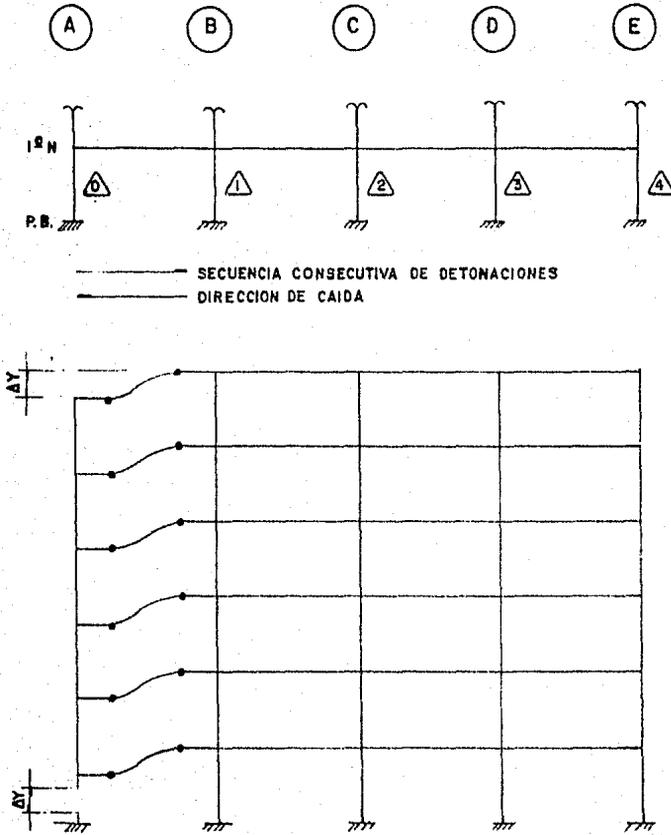


FIG. V:4



• ARTICULACIONES PLASTICAS,  
 $\Delta Y$  ACORTAMIENTO DEBIDO A LA DETONACION.

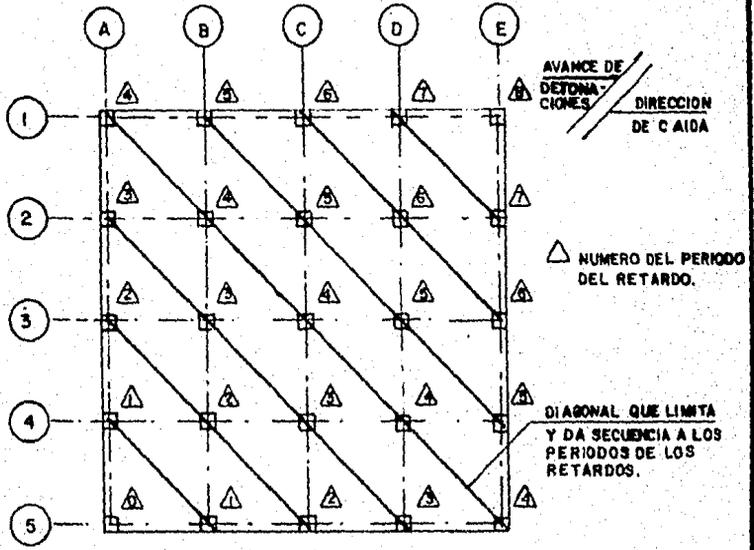
FIG. V:4

tarse un período", para que el desplazamiento vertical sea mayor y asegure la fragmentación de las traveses y losas. Hasta aquí queda resuelto el problema de obtener una buena fragmentación en una sola dirección del sistema de piso; es decir las traveses perpendiculares al marco de la fig. V.4 no se fragmentarán y las losas sí pero parcialmente. Para poder fragmentar los sistemas de piso en dos direcciones hay que ubicar los retardos consecutivamente en planta, como se muestra en la fig. V.5.

Para obtener una fragmentación de los sistemas de piso en dos direcciones, -- hay que trabajar con las plantas de los edificios para ubicar adecuadamente los retardos, dichas posiciones son las que determinan como habrá que colocar los retardos, dependiendo de la forma y la dirección de caída que se le puede dar al edificio en función de sus colindancias.

La posición de retardos indicada en la fig. V.5. en "diagonal", provoca un mecanismo de falla de conjunto mostrado en la fig. V.6, con las ventajas de obtener una buena fragmentación total, no sólo por las articulaciones plásticas de los sistemas de piso formadas en las dos direcciones, sino también por que una vez que caiga la columna A-5, con todo el peso de su área tributaria aproximadamente, jalará a las columnas A-4 y B-5 provocando nuevas articulaciones plásticas ahora en los entrepisos, las cuales a su vez producen un desplazamiento horizontal  $\Delta x$  perpendicular a las diagonales, dicho desplazamiento hará caer parte del área tributaria de las columnas A-4 y B-5, sobre la de la columna A-5, volviéndola a fragmentar, y así sucesivamente. Otras ventajas son el control de la dirección de caída, la cual será perpendicular a las diagonales y en dirección contraria al avance de las detonaciones y con un impacto gradual, menor al que se provocaría si se detonaran simultáneamente, por lo que las vibraciones provocadas en el suelo serán mucho menores.

Por otro lado la ubicación de retardos en diagonal tienen la desventaja de invadir, ya sea uno de los terrenos colindantes o una calle en función del desplazamiento horizontal  $\Delta x$ , con el escombros en una longitud aproximada de un tercio de la altura del edificio a demoler, limitándose su aplicación. Tampoco es deseable utilizar la ubicación de retardos en diagonal en edificios muy esbeltos o alargados en planta, ya que las diagonales resultarían muy tendidas, con lo cual se pierde fragmentación y control en la dirección de caída.



PLANTA RETARDOS EN DIAGONAL

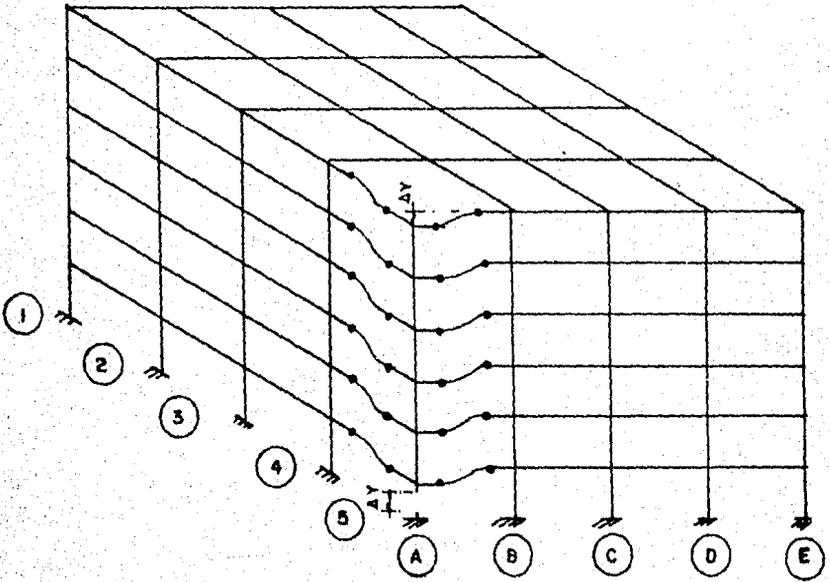


FIG. V. 5

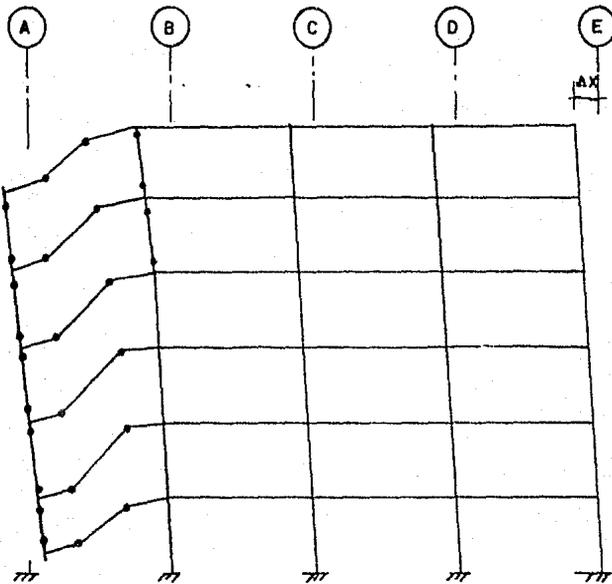
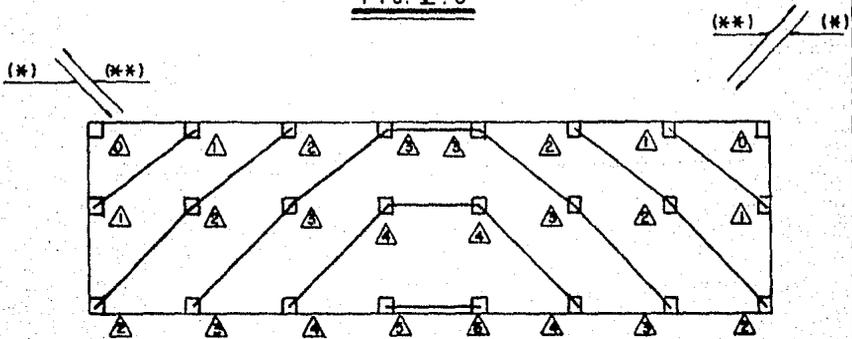


FIG. V. 6



(N) AVANCE DE DETONACIONES  
 (\*\*) DIRECCION DE CAIDA.

FIG. V. 7

Por lo tanto el método en diagonal conviene en edificios que tengan planta cuadrada o sensiblemente rectangular.

Para edificios esbeltos y alargados en planta, en principio se continua usando el método en diagonal, pero descomponiéndola en dos direcciones opuestas de tal forma que los desplazamientos horizontales tiendan a equilibrarse o sean mínimos, ya que las detonaciones empezarán en las cabeceras o extremos y terminarán en el centro (ver fig. V.7). Dicha distribución se denomina en "arco".

Para edificios que no presenten plantas de forma regular como la cuadrada o rectangular habrá que adaptar las diagonales o quebrar su dirección.

Una vez que se ha seleccionado el manejo de retardos en planta, se procede a estudiar su ubicación vertical, es decir la ubicación de retardos en planta determina el mecanismo de falla, con el cual se procura fragmentar todos los elementos estructurales, así como la dirección de caída, y como ya se había mencionado antes, bastaría con detonar sólo uno de los niveles inferiores con un barreno en cada columna para tirar un edificio, pero con resultados de buena fragmentación sólo si la altura del edificio y su estructuración permitan lograr una fuerza de caída tal que logren se cumpla el mecanismo de falla descrito anteriormente, de lo contrario para asegurar una buena fragmentación por ejemplo en un edificio con poca altura y una estructuración fuerte habrá que preparar más niveles con explosivos para obtener una mayor energía de caída del edificio. Por lo tanto el manejo de retardos está integrado a la cantidad de preparaciones (barrenos, demoliciones, cableado, etc.) necesarias para obtener más energía en la caída, ya que una vez que los explosivos detonen y remuevan los apoyos de la estructura, la fuerza de gravedad hará el resto de la fragmentación.

Para aprovechar la energía potencial gravitacional que es mayor en los niveles superiores habrá que remover las columnas de los niveles inferiores; si detonamos las columnas del entrepiso de planta baja como se muestra en la fig. V.5 con un sólo barreno el desplazamiento vertical  $\Delta y$  tendrá una magnitud inicial aproximadamente igual a la zona local removida por los explosivos de dicho barreno al detonar, si se adiciona otro barreno  $\Delta y$  también se incrementará, por lo tanto en los pisos de P.B. y sótano es necesario volar la co-

lumna en toda su altura libre para lo cual se requieren de más barrenos, los cuales son como mínimo 3 y máximo 5 dependiendo de la altura del entrepiso, - distribuidos uniformemente a lo largo de la altura libre de la columna. También es indispensable volar las columnas del 1º nivel por la misma razón, pero sólo en la mitad de su altura, para lo cual bastarán 2 ó 3 barrenos.

Si se desea limitar la invasión con escombros ya sea de calles o terrenos colindantes y/o sea necesario ganar más energía de caída, bastará utilizar 2 barrenos en algunos de los niveles superiores. Esto es debido a que al detonar más niveles los desplazamientos verticales serán mayores que los horizontales, por lo que la masa de la estructura generará más aceleración debido a la fuerza de gravedad al crearse mayor altura de caída libre.

La ubicación de barrenos con el manejo de retardos, también puede asegurar el control de caída, abriendo cuñas, como si se tratara de tirar un árbol, tanto en edificios esbeltos como normales (ver fig. V.8.)

En resumen, para poder obtener una buena fragmentación y control de caída de un edificio a demoler con explosivos, son de uso primordial los retardos y su adecuado manejo, pudiéndose dar muy variadas aplicaciones.

## V.2. DOSIFICACION.

La dosificación es la cantidad de carga de explosivos adecuada para el objeto que se desea alcanzar.

La dosificación es muy importante, ya que si ésta se hace en exceso, se pierde la seguridad en la voladura con el riesgo de dañar inmuebles cercanos, por el contrario si se hace insuficientemente se puede inclusive perder el control de caída del edificio u obtener una mala fragmentación.

Para el cálculo de la dosificación de explosivos, se necesita un conocimiento amplio de éstos especialmente en la eficiencia de fragmentar y mover material, es decir en su energía y potencia, lo cual en la actualidad todavía no se ha estudiado satisfactoriamente, y menos para el caso de edificaciones, en las que las cantidades de explosivos que se manejan son pequeñas tanto localmente

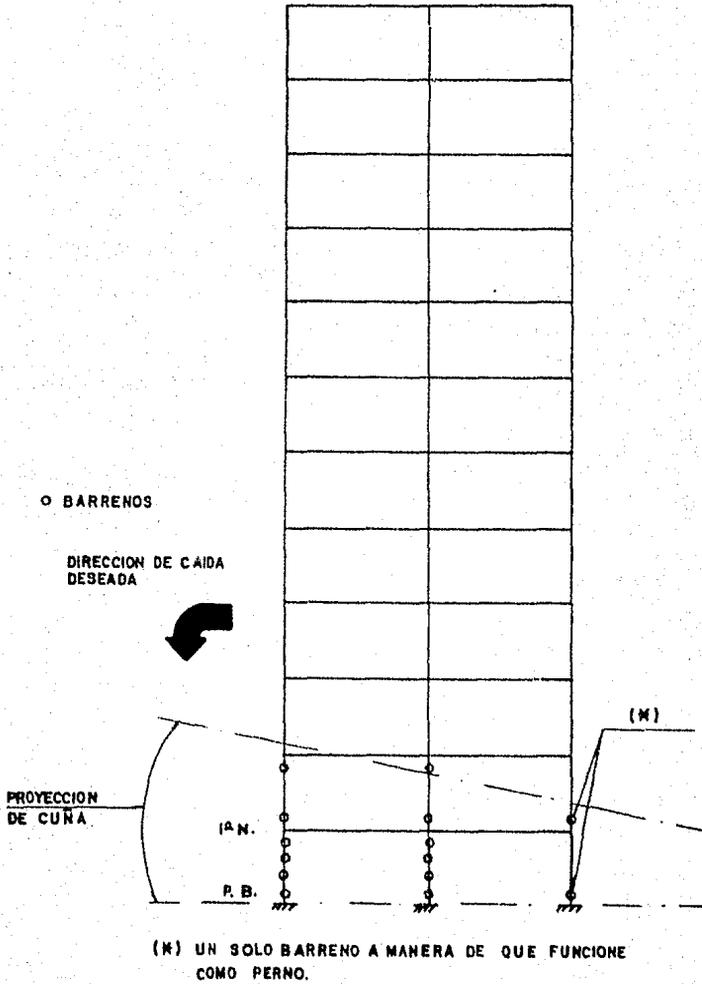


FIG. V. 8

en cada elemento estructural que se vaya a remover, como el global aplicado a la estructura, siendo inclusive un factor económico insignificante.

Por lo tanto para dosificar cargas de explosivos adecuadamente en estructuras de concreto reforzado, se puede recurrir a lo siguiente:

- 1).- Empíricamente.
  - 2).- Mediante pruebas.
  - 3).- Cálculo de la presión de detonación.
  - 4).- Cálculos a base de la densidad de carga.
- 1).- Empíricamente: Ya se mencionó en el capítulo II, en los aspectos de seguridad en voladuras, que la brigada de personal que maneje los explosivos deberá tener experiencia y ser profesional, no un usuario ocasional.

La barrenación y su dosificación en roca tiene similitud en el concreto ya que este tiene agregados pétreos, no así si está reforzado, por lo tanto la cantidad y disposición del acero de refuerzo, junto con la importancia y la ubicación del elemento estructural a detonar son factores que determinarán si inclusive hay que sobredosificar o no.

Las siguientes recomendaciones son con base en la experiencia de los resultados de varias demoliciones anteriores y las pruebas previas descritas en el siguiente inciso.

Por "ubicación": Es conveniente sobredosificar ligeramente las columnas de sótano (si existe), y planta baja, ya que son las que permitirán con su detonación el aprovechamiento de la energía potencial gravitacional y también --- porque obviamente son las más reforzadas, por el contrario en columnas de niveles superiores perimetrales o cercanas al perímetro del edificio, conviene dosificarlas menos, ya que si bien tienen protección individual se corre el riesgo de dañar fachadas colindantes o cercanas (por lo general cristales de ventanas) con el impacto de proyectiles o pedradas que no sean capaces de detener las protecciones.

Por "disposición del acero de refuerzo": Para el caso de columnas rectangu-

lares o cuadradas con el refuerzo concentrado en las esquinas, se dosificarán y barrenarán normalmente. Para columnas con el refuerzo uniformemente distribuido y con refuerzo transversal convencional se dosificarán normalmente, pero para remover eficientemente la longitud deseada de columna los barrenos -- distarán entre si de 12 a 14 veces el diámetro del barreno (50 a 60 cm.). En columnas circulares zunchadas además de la separación de barrenos antes mencionada, los barrenos deberán hacerse más profundos, del orden de un 85% de su diámetro o inclusive hasta que el barreno llegue al esfuerzo longitudinal diametralmente opuesto a donde se inició el barreno, para poder dosificar --- más.

- 2).- Mediante pruebas: Cuando exista la posibilidad de acuerdo a lo mencionado en el capítulo III.2., será conveniente hacer pruebas previas y de acuerdo con los resultados obtenidos ajustar la dosificación. Las pruebas consisten en detonar dos barrenos como máximo, con diferentes dosificaciones, en una o dos columnas, de acuerdo al tamaño del edificio. Dichas columnas deberán ser interiores, nunca de borde, ya que al detonarlas su trabajo se distribuirá en los elementos estructurales resistentes adyacentes. La prueba hay que hacerla en el entresuelo del sótano o de la P.B., ya que en el primero no se requiere de preparaciones de protección y en el segundo aparte de la protección individual de la columna existe la "cortina", la prueba debe limitarse a dos barrenos por columna, cada uno con dosificaciones diferentes, uno sobredosificado con la idea de desplazar totalmente el concreto y el otro subdosificado con la idea de agrietar el concreto, la finalidad de las diferentes dosificaciones es tener más conocimiento ya sea para ajustar o inclusive interpolar una dosificación adecuada. Por otro lado se limita a dos barrenos para evitar un desplazamiento vertical como el indicado en la fig.- V.5 que pudiera provocar un colapso prematura o dejando la estructura inestable, dicho desplazamiento se tratará de eliminar o limitarlo lo más posible con el uso de retardos con un período de diferencia, es decir al detonar por ejemplo; primero el barreno sobredosificado la columa se acortará, dependiendo de la cantidad que se agrieta o desplace de concreto y el refuerzo trabajará como una columna corta o se pandeará radialmente hacia el exterior, evitando inclusive desplazamientos la terales, medio segundo después detonará el barreno subdosificado, agrie

tando la columna. Si se quiere más seguridad en la prueba se puede limitar a un sólo barrenos por columna y pobremente dosificado.

- 3).- Cálculo de la presión de detonación: de acuerdo a la definición dada en el capítulo II.1.2., la magnitud de la presión de detonación es la que fragmenta el material a volar, en este caso el concreto, y se puede calcular aproximadamente con la siguiente expresión:

$$P = 2.5 \rho D^2 \times 10^{-6} \text{ (kilobars)}$$

En la que  $\rho$  es la densidad (g/c.c.) y D la velocidad de detonación --- (m/seg.) del explosivo a utilizar, el cual se describió en el capítulo II.2.3. Para el hidrogel Tovex 100, cuyas propiedades son las siguientes:

Densidad :  $\rho = 1.10 \text{ grs./c.c.}$

Velocidad promedio de detonación = 4050 m/seg.

Nota: 1 bar = 1.033 Kg/cm<sup>2</sup>

Sustituyendo:

$$P = 2.5 (1.10)(4050)^2 \times 10^{-6} = 45.11 \text{ (Kilobars)}$$

$$P = 45.11 \text{ Kilobars} = 46,598.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P = 46,598.6 \text{ Kg/cm}^2$$

Es tal la magnitud de la presión de detonación que garantiza la pulverización y fragmentación de concreto alrededor del barrenos por la onda tan intensa de esfuerzo generada, y posteriormente el movimiento o desplazamiento del concreto ya fracturado dependiendo de la cantidad de refuerto, pero en general dicho desplazamiento será eficiente en un radio de 25 a 30 cm. aproximadamente, y en volumen esférico o cilíndrico de acuerdo a la longitud del barrenos y la columna de explosivo cargada, dicha eficiencia se debe también a la velocidad de detonación del hidrogel que es de 4,050 m/seg, superior a la velocidad sónica del concreto, la cual varía aproximadamente entre los 2,500 a 3,000 m/seg. dependiendo de su calidad. (ver. capítulo II.1.2.-).

- 4).- Cálculos a base de la densidad de carga: una vez determinado el diámetro y la profundidad del barreno, se puede conocer la cantidad de carga que puede quedar alojada en él, ya que se conoce la densidad (gr/c.c.) del explosivo, su peso y dimensiones del cartucho.

La textura del explosivo a utilizar es plástica (hidrogel TOVEX 100, -- ver capítulo II.2.3.-), se encartucha o empaca mediante una película de peso muy ligero que se cierra en ambos extremos mediante alambres metálicos. La textura final del cartucho es flexible pero firme, tiene el aspecto de una salchicha y de hecho comunmente así se le denomina. La película del cartucho o salchicha puede ser fácilmente hendida, cortada o inclusive romperse mediante una presión firme y constante, con lo cual se pueden incrementar las densidades de carga hasta en un 25% y se podrá dosificar tanto en cartuchos enteros como fraccionados, pudiéndose dar cualquier dosificación deseada.

Una guía útil para proyectar una voladura es el saber aproximadamente - cuantos kilogramos de explosivos se cargarán en un metro de barreno; para el caso de edificios las dimensiones y cantidades de explosivos son muy reducidas, utilizándose gramos de explosivos por centímetros de barreno.

Cuando se usa la densidad del explosivo para calcular cargas de barreno, hay que tomar en cuenta las variaciones en tamaño del barreno debido a brocas desgastadas y la variación en la compactación del explosivo (atacadura o aplastamiento).

Una vez descritos los aspectos con los que se puede calcular la dosificación, se dará el procedimiento de cargado recomendable, tanto por seguridad como para obtener la densidad de carga deseada:

#### Cargado :

- 1).- Es esencial que el atacador sea lo suficientemente largo para alcanzar el fondo del barreno, deberá ser de madera sin ninguna parte metálica - que pueda causar chispas. El extremo con que se ataca debe ser plano -

si se redondea por el uso, hay que cortarle una pequeña sección. El --  
atacador debe ser  $1/2''$  de diámetro menor que el barreno.

- 2).- Siempre recorra el atacador en toda la profundidad del barreno para verificar su dimensión y limpieza.
- 3).- Siempre inserte el cartucho cebado primero con la cápsula apuntando hacia el brocal, nunca coloque un cartucho detrás del cartucho cebado. -- (para el procedimiento de cebado ver el capítulo II.4.4.-).
- 4).- El cartucho cebado deberá empujarse al fondo del barreno pero nunca deba ser atacado.
- 5).- En la profundidad restante del barreno no deberán cargarse más de dos - cartuchos al mismo tiempo, siempre uno por uno o fracciones inclusive, - atacando con una presión firme y constante sobre el cartucho para romperlo y lograr que se expanda y llene completamente el barreno.
- 6).- Durante el cargado los alambres del estopín deberán mantenerse tensos - para evitar daño al aislamiento con el atacador.
- 7).- Terminando de cargar el barreno, este se debe de confinar con tacos, -- los cuales consisten en bolsas alargadas de papel llenas de arena cernida y seca con un diámetro aproximado al del barreno (ver capítulo ---- (II.4.4.-)).
- 8).- Se recomienda alojar la carga aproximadamente en el centroide del barreno, si éste último tiene una profundidad mayor al espacio que ocupará - el explosivo, este se puede dejar al centro utilizando tacos como ajustes.
- 9).- En barrenos profundos con poca dosificación se podrán colocar tacos entre cartuchos, para llenar y confinar el barreno, estos detonarán por - el efecto de propagación, no es necesario utilizar cebos múltiples.
- 10).- Después de que la barrenación ha sido cargada, no deberán retirarse los

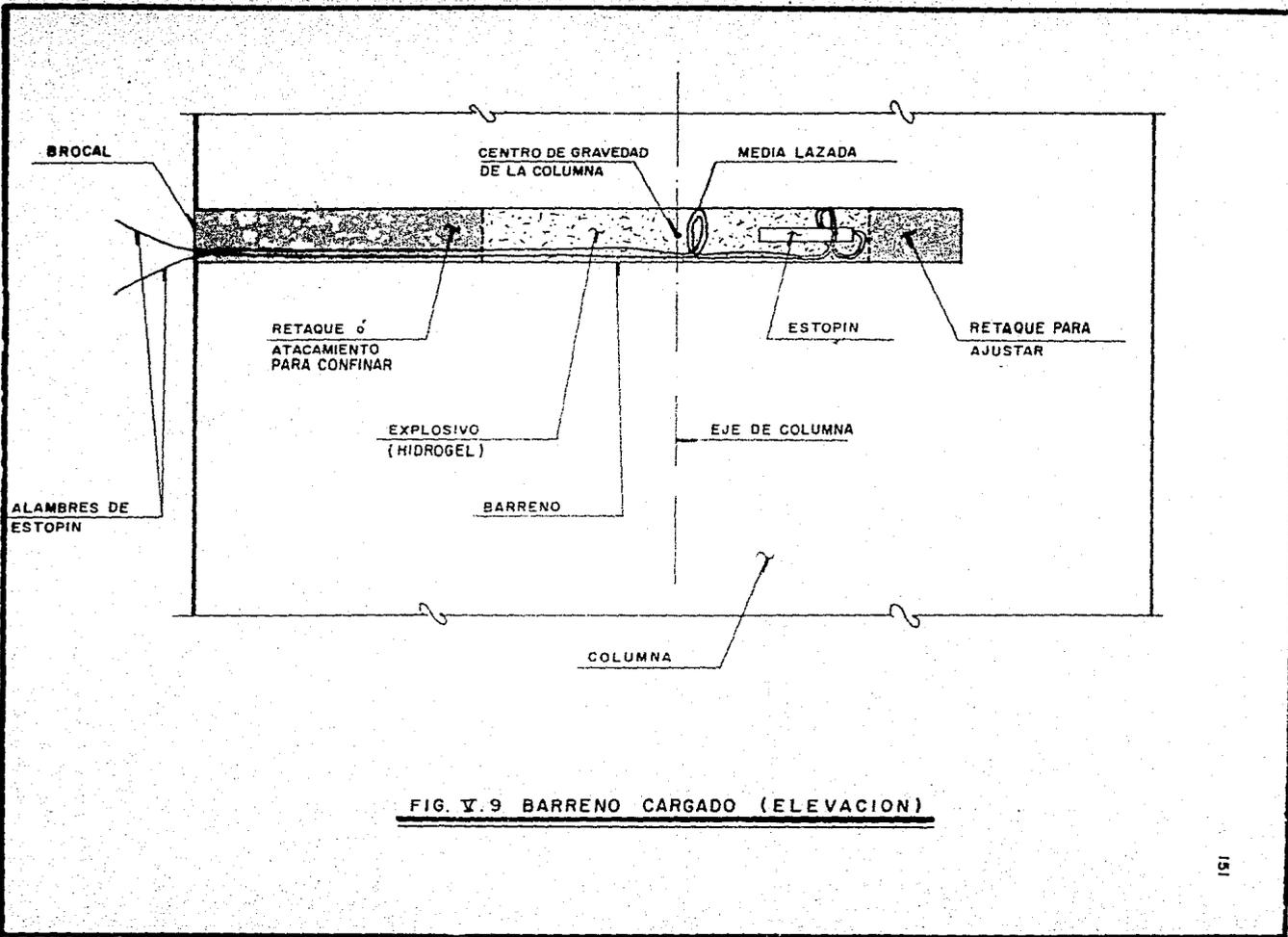


FIG. V.9 BARRENO CARGADO (ELEVACION)

derivadores de los alambres de los estopines. Cuando se comiencen a formar las series, las conexiones entre los alambres de los estopines no aisladas, deberán tocar tierra o estar juntas.

- 11).- Terminado el circuito, mantenerlo en corto a éste en sus extremos, antes de efectuar el disparo, (Ver fig. V.9.).

A continuación se dará un ejemplo de dosificación de una columna, cualesquiera en diferentes niveles. Para el cálculo se utilizará la tabla V.1, obtenida de varios datos de edificios demolidos con explosivos de los cuales se tiene su dosificación y tamaño de columnas. También se revisará con base en la densidad del explosivo; si es posible alojarlo en el barreno de acuerdo a su volúmen o capacidad.

La tabla V.1, se aplica de la siguiente manera :

$$\text{Factor de la tabla} \times a \times h = \text{Kilogramos (de explosivo)} \quad (1)$$

donde :

$$A = \text{Area de la sección de la columna (m}^2\text{)}$$

$$h = 0.6 \text{ m (15 veces el diámetro del barreno).}$$

**Ejemplo:**

Calcular la dosificación de una columna interior de planta baja de 0.70 x 0.60 m.:

**Datos:**

Explosivo : Cartucho de TOVEX 100

$$\phi = 2.5 \text{ mm} = 1''$$

$$L = 20.3 \text{ mm} = 8''$$

$$W = 121 \text{ gr/cartucho}$$

$$p = 1.1 \text{ gr/c.c.}$$

Barreno :

$$\phi = 1 \frac{3}{4}'' = 44.45 \text{ mm.}$$

$$L = 75\% \text{ (lado más grande)} = 0.75 (0.70) = 0.525$$

Cálculo :

$$A = 0.6 \times 0.70 = 0.42 \text{ m}^2$$

De la tabla V.I para P.B. interior :

$$F = (0.95 + 1.2)/2 = 1.075$$

Sustituyendo en (1)

$$1.075 \times 0.42 \times 0.6 = 0.271 \text{ Kg.}$$

$$\text{No. cartuchos} = \frac{0.271}{0.121} = 2.24 \text{ cartuchos.}$$

Dosificación = dos cartuchos enteros más 1/4.

Comprobación de capacidad de volumen del barreno.

Suponiendo que el explosivo se pueda compactar totalmente, éste ocupará un -- volumen de :

$$V \text{ explosivo} = W_p = 271 (1.1) = 298 \text{ cm}^3$$

$$V \text{ barreno} = \frac{(4.445)^2}{4} \pi (52.5) = 815 \text{ cm}^3$$

$V \text{ barreno} \gg V \text{ explosivo}$   $\therefore$  si hay capacidad, inclusive para 5.5 cartuchos -- y con 5 cm de holgura para confinar con tacos de arena, pero solamente son necesarios 2.25 cartuchos para volar la columna.

NIVELES	COLUMNA	
	EXTERIOR	INTERIOR
SUPERIORES (4to. EN ADELANTE)	0.90 - 1.15	1.10 - 1.50
INTERMEDIO (1ro al 3ro)	0.95 - 1.20	1.30 - 1.85
PLANTA BAJA	0.90 - 1.10	0.95 - 1.20
SOTANO	NO RECOMENDABLE CARGAR	0.92 - 1.15

FACTORES PARA DOSIFICACION  
POR BARRENO (Kg)

T A B L A V.1

### V.3. RESULTADOS

Uno de los objetivos principales que se busca con la demolición de edificios, con el método de explosivos, es el grado de fragmentación, el cual se puede lograr mediante la adecuada distribución de retardos, dosificación y número de niveles preparados, éstos últimos de acuerdo a la altura del edificio y su estructuración. Es decir, resueltos los puntos anteriormente mencionados, la fragmentación está garantizada, y de hecho siempre se logran buenos resultados cuando el edificio por demoler esté aislado en una área lo suficientemente grande para no dañar inmuebles, instalaciones, etc. cercanas o invadir una vía de tránsito importante. Lo contrario pasa cuando hay limitantes, ya que al no estar aislado el edificio, su proyección de caída que dé una óptima fragmentación hay que ajustarla o cambiarla totalmente para no causar daños, perdiéndose calidad en la fragmentación. De los casos más desfavorables de edificios no aislados, es cuando hay que proyectar sus caídas sobre si mismo por no poderse dar ninguna otra dirección a esta. Le siguen los casos con una sola dirección de caída posible, etc. Otro de los objetivos es no dañar los inmuebles colindantes, para los cuales siempre existirá riesgo y habrá que hacer preparaciones costosas y laboriosas adicionales, ya sea en el edificio a demoler o en la estructura colindante o en ambas, estas medidas deben tomarse en cuenta ya que el edificio en su caída siempre produce un coceo o pateo en sus niveles inferiores en el sentido opuesto a la dirección de ésta dañando lo que este cerca.

El resumen los resultados no sólo son el obtener una mala o buena fragmentación, sino también el ocasionar los mínimos daños posibles a construcciones cercanas y es aquí en donde interfieren un gran número de factores previamente mencionados, los cuales siempre se deben de considerar.

## C A P I T U L O VI

### EJEMPLOS DE PROYECTOS DE DEMOLICION

#### VI.1.- EDIFICIO EN DURANGO No. 138, COL. ROMA.

Diagnóstico estructural.

Inmueble : Oficinas comerciales y administrativas.

Dirección : Durango No. 138, Col. Roma México D.F.

Descripción General:

Edificio de 8 niveles sin sótano, estructurado a base de columnas y losa reticular. Alta densidad de muros divisorios de mampostería en la zona Central-Norte y en fachadas. Asimétrico en planta y en elevación.

Observaciones:

Debido al movimiento telúrico del 19 de Septiembre de 1985, ocurrido en la --  
CD. de México, gran parte de las columnas sufrieron agrietamientos inclina--  
dos, indicando fallas por tensión diagonal, orientadas en dos direcciones pr  
vocadas por la inversión de esfuerzos. En algunas otras las grietas se orien

taron en una sola dirección (las del lado Oriente) observándose un desplome máximo de 54.8 cm. hacia ese punto. Las columnas más dañadas se localizaron en los pisos intermedios.

Así mismo, elementos no estructurales como son los muros divisorios, se colapsaron o se agrietaron. Se considera, para este caso, que la distribución asimétrica de dichos muros provocó que los daños se incrementaran, ya que en la porción Norte del edificio (ver planta) existían muchos muros divisorios y en la parte Sur ninguno. La torsión que provocó esta situación incrementó significativamente las fuerzas que se ocasionaron en las columnas de los ejes de la parte posterior y que contribuyeron a ocasionar el desplome ya mencionado.

También se observó el deslizamiento y/o punzonamiento de las columnas en los capitales de estructura de la losa reticular, provocado por la tensión diagonal y además por que la zona maciza de la losa alrededor de la columna era pequeña.

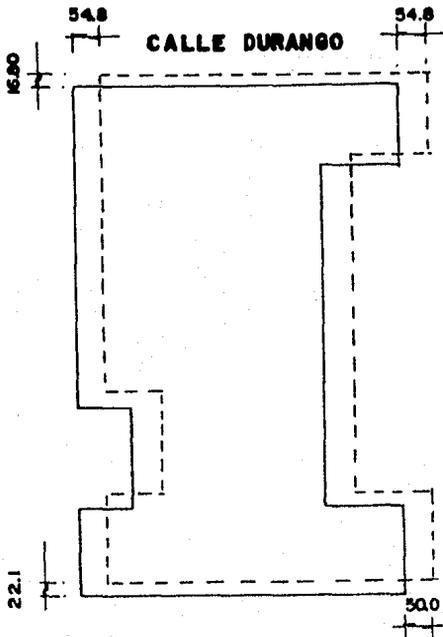
En la parte central del edificio y en pisos intermedios la losa reticular sufrió agrietamientos en el sentido Este-Oeste, probablemente debidos a la torsión provocada por la asimetría de los muros divisorios ya comentada, por lo que era perceptible un declive en el piso de estos niveles al intentar caminar.

El desplome antes mencionado se debió a las deformaciones excesivas de las columnas en cada entrepiso, causadas por fuertes desplazamientos laterales.

#### Recomendaciones :

El hecho de que su desplome sea de gran magnitud implica un alto riesgo para la seguridad pública, ya que el edificio puede colapsar totalmente ante un sismo de poca magnitud debido a que está seriamente dañado en su estructura. Aunque el inmueble se encuentre evacuado, presenta un alto peligro para las construcciones vecinas aún habitadas. Además es antieconómico intentar realizar cualquier reparación, ya que los daños que presenta son irreparables o muy costosos.

Debido a la condición de inestabilidad estructural que se observa se recomienda



## SIMBOLOGIA:

- PARAMENTO ANTES DEL SISMO.  
 - - - PARAMENTO DESPUES DEL SISMO.  
 ACOT. EN CENTIMETROS.

**DESPLOMES EDIFICIO DE DURANGO No. 138**

da demolerlo lo más pronto posible.

Existen diversos factores que deben tomarse en cuenta para llegar a la decisión de demoler un edificio. En primer término, esta el de realizar un peritaje estructural que dictamine la necesidad de hacerlo. Otro análisis que ha brá que hacer es el de tipo económico. Una vez que se ha decidido demoler el edificio, se deben de plantear y estudiar los diversos procedimientos para de molerlo. El análisis de los métodos factibles de aplicarse en cada caso nos llevará a la solución más adecuada.

Sin embargo, en el caso de la demolición con explosivos, se puede decir que el procedimiento es aplicable básicamente a edificios altos, como lo es el edificio aquí descrito, el cual se decidió demoler mediante este método después de realizar el análisis de las diferentes opciones factibles.

Preparaciones en el edificio.

Planta baja.

Se eliminaron totalmente los muros interiores de tabique. Los muros exteriores únicamente demolidos fueron sobre el eje D entre los ejes 6 y 7 por la dirección de caída (ver planta). Demolición de muros de cubo de elevadores y ranuras en escaleras sin cortar el armado.

Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Cuatro barrenos por columna con excepción de la B-4 y C-4 que por ser robustas y estar ligadas a un pequeño muro de concreto se les hicieron 13 barrenos. El total de barrenos fue de 106. No hubo colocación de cables.

La barrenación se realizó según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1. y fig. IV.2.).

La protección en columnas barrenadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.), demolición manual y retiro de escombros en el lado Poniente la cual se efectuó completamente entre ejes 4-5 y A-B y parcialmente entre 1-2 y A-B (fig. VI.1.) para prevenir daños a colindancias.

Apuntalamiento en la parte Sur-Oriente del edificio por problemas de desplazamiento de éste, debido a la utilización del equipo de barrenación y colocación de cableado.

Colocación de cortina de protección en todo el lado Oriente y Norte del inmueble (fig. IV.4.c. y fig. VI.4.).

### Primer Piso.

Se eliminaron completamente los muros interiores de tabique. Demolición de muros de cubo de elevadores y ranuración de escaleras sin cortar el armado.

Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Tres y dos barrenos por columna dependiendo de su localización (fig. VI.2.), formando la cuña de dirección de caída (fig. V.8).

La barrenación se realizó según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1 y fig. IV.2.). El total de barrenos fue de 55. La protección en columnas barrenadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.)

Se colocaron 16 cables en posiciones muy variadas de manera que ayudaran a la caída del edificio (fig. VI.1.), previamente planeada. El cableado utilizado según especificaciones del capítulo IV, fue de los dos primeros tipos (fig. IV.3.a y b.), ya que dependió de las condiciones estructurales de las columnas y de la facilidad de colocación de éstos.

Demolición manual y retiro de escombros, del lado Poniente, la cual se realizó parcialmente entre ejes 1-2 y A-B (fig. VI.1) para prevenir daños a colindancias.

Apuntalamiento en la parte Sur-Oriente del edificio por problemas de desplazamiento de éste, debido a la utilización del equipo de barrenación y colocación de cableado.

### Segundo Piso.

Se eliminaron completamente los muros interiores de tabique. Demolición de muros de cubo de elevadores y ranuración de escaleras sin cortar el armado. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Dos barrenos por columna en ejes B, C y D; el eje A no se barrenó para evitar el "pateo" de las columnas a la hora de la detonación que pudieran ocasionar

daños a las construcciones vecinas del lado Poniente (casa habitación, edificio de 8 niveles y taller mecánico). (fig. VI.2.).

La barrenación se realizó según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1 y fig. IV. 2). El total de barrenos fue de 36. La protección en columnas barrenadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.).

Se colocaron 14 cables en posiciones estratégicas para ayudar al sentido de caída planeado (fig. VI.1). Los cables utilizados fueron del tipo I y II (fig. IV.3.a. y b).

Demolición manual y retiro de escombros en el lado Poniente que se realizó parcialmente entre los ejes 1-2 y A-B (fig. VI.1), para prevenir daños a colindancias.

Apuntalamiento en la parte Sur-Oriente del edificio por problemas de desplazamiento de éste, debido a la utilización del equipo de barrenación y colocación de cableado.

### Tercer Piso.

Se eliminaron completamente los muros interiores de tabique. Demolición de muros de cubo de elevadores. Ranuración de escaleras sin cortar el armado. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Dos barrenos por columna en todas las existentes (fig. VI.2). La barrenación se realizó según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1 y fig. IV.2). El total de barrenos fue de 44. La protección en columnas barrenadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.).

Se colocaron 6 cables de 3/4" de diámetro (fig. VI.1). Se utilizó cableado tipo I y II (fig. IV.3. a y b.)

Demolición manual y retiro de escombros en el lado Poniente realizada parcialmente entre los ejes 1-2 y A-B (fig. VI.1), para prevenir dañar colindancias.

Apuntalamiento en la parte Sur-Oriente del edificio por problemas de desplazamiento de éste, debido a la utilización del equipo de barrenación y colocación del cableado.

#### Cuarto Piso.

Demolición de muros interiores, únicamente los necesarios, para la colocación de cables del tipo I y II (fig. IV.3.a. y b.). El total de cables fue de 12 (fig. VI.1).

Demolición manual y retiro de escombros en el lado Poniente que se realizó parcialmente entre ejes 1-2 y A-B. (fig. VI.1).

Apuntalamiento en la parte Sur-Oriente del edificio por problemas de desplazamiento en éste, debido a la utilización del equipo de barrenación y colocación de cableado.

#### Quinto Piso.

Demolición total de muros interiores. Ranuración de escaleras sin cortar armado existente. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Las características de barrenación, número de barrenos, protección y demolición parcial del lado Poniente fué idéntica a la del tercer piso.

Se colocaron 4 cables (fig. VI.1) del tipo I y II (fig. IV.3.a y b.).

En las figuras siguientes se presentan las preparaciones realizadas en el edificio, previamente descritas.

Preparaciones en colindancias e instalaciones cercanas.

En las colindancias del lado Poniente se realizaron preparaciones en la casa

habitación y en el taller mecánico; en el edificio de ocho niveles se llevo a cabo una inspección para determinar si era necesario alguna preparación, y se determinó que no lo era, ya que estructuralmente hablando se encontraba en perfectas condiciones (ver fig. VI.6).

Las preparaciones realizadas en la casa habitación, de 2 pisos, ubicada en la calle de Tonalá consistieron solamente en un apuntalamiento sencillo y más -- que nada se realizó como precaución, ya que el estado estructural de la construcción era bueno; solamente que en la parte posterior se encontraba almacenada alguna maquinaria de imprenta algo costosa, por lo que se optó por apuntalar.

En el taller ubicado en la esquina de las calles de Tonalá y Durango se realizaron preparaciones especiales para evitar que fuera dañado por la caída del edificio, al demolerse, ya que era colindante.

La cubierta del taller era de armaduras metálicas apoyadas en vigas también de acero que a la vez se apoyaban en columnas de concreto construidas alrededor del perímetro del área que ocupaba el taller (fig. VI.5).

Como del lado Oriente del taller existía la unión de las dos armaduras a base de soldadura se optó por realizar el retiro de parte de la armadura colindante con el edificio de Durango No. 138, mediante el corte en esa zona (fig. -- VI.5) para después colocarla en su posición original. El retiro de las armaduras se realizó con ayuda de un cargador frontal y personal de la constructora que se encargaron de bajar poco a poco la zona por retirar, que en realidad era de poco peso. El corte se realizó con soplete.

Antes de realizar la maniobra del retiro parcial de la armadura se colocaron tres puntales (de dos polines de 4" x 4") bajo la viga de acero para apoyo auxiliar, con sus respectivos puntales diagonales para prevenir el golpeo o empuje de la posible caída de escombros que pudieran dañar a los puntales verticales (fig. VI.5).

En la colindancia Oriente (casa habitación antigua) se colocó solamente una protección, en su pared Poniente, consistente en un colchón de tezontle de aproximadamente 1.5 m. de altura (fig. VI.2). Este mismo material se colocó

en el frente del edificio por demoler como protección de las instalaciones -- subterráneas como son cables de teléfono, luz, etc. El espesor de este último fue de aproximadamente 0.20 m. colocado en el borde de la construcción.

En todas las construcciones de alrededor se protegieron los tanques de gas -- con cajas de triplay, construidas especialmente para este fin y además cristales de puertas y ventanas que podrían ser dañadas por la salida de proyectiles y el golpe de aire. Se colocaron 8 cajas vacías de trailers para contrar restar estos efectos (fig. VI.6).

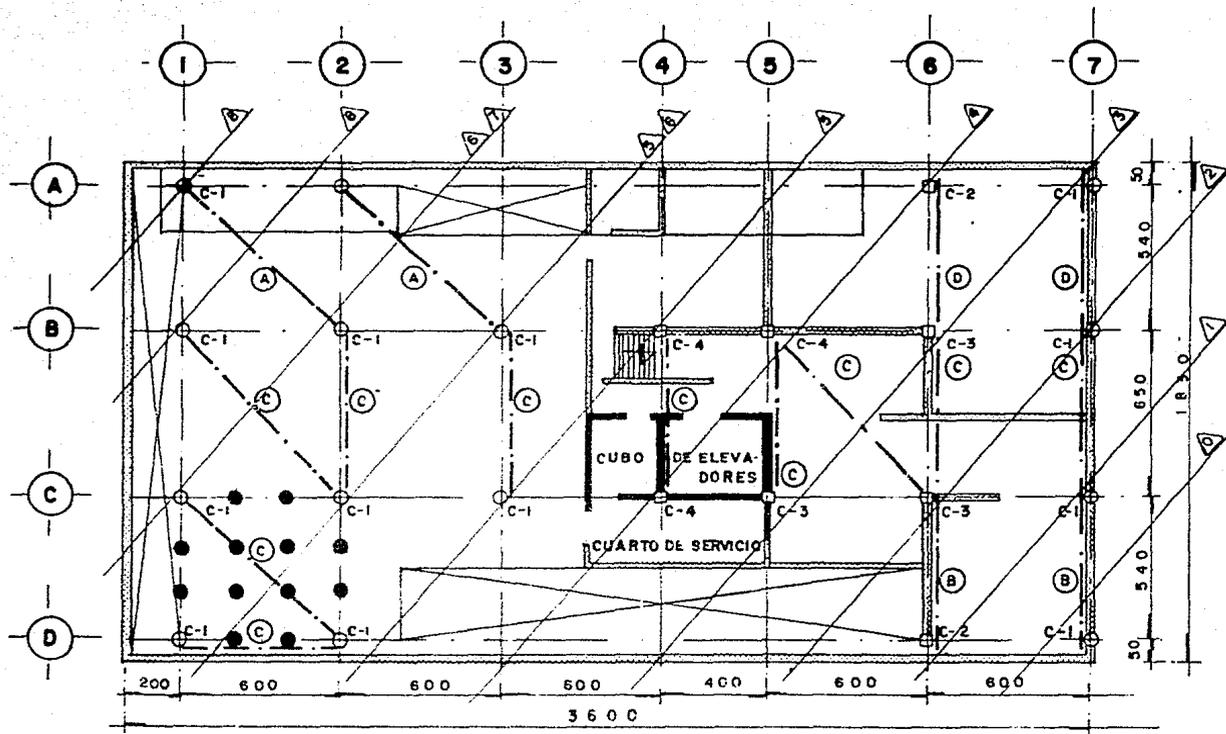
El área total de construcción demolida fue de 4152.4 m<sup>2</sup> con un peso de ----- 1855.22 toneladas. El total de barrenos fué de 285 unidades y 52 cables de - 3/4" de diámetro como se muestran en las respectivas preparaciones.

#### Manejo de retardos y dosificación.

Como el edificio por demoler se encontraba seriamente desplomado hacia el --- Oriente (54.8 cm.) y además existía un terreno colindante sin construcción, - se optó por realizar la secuencia de caída en dirección Nororiente. De ---- acuerdo a esta decisión fué como se elaboraron las especificaciones para realizar las preparaciones en el edificio y en sus colindancias que se describen con anterioridad.

En la tabla VI.1 se señalan los retardos por nivel en cada una de las columnas preparadas, las cuales al superponerse nos enmarcan la "cuña" transversal de caída, que se puede ver en la fig. VI.1, con lo que se logra una mejor fragmentación ya que el sentido planeado de demolición en forma transversal - provoca la total destrucción de las losas y de cualquier otra interacción que pudiera existir entre los elementos estructurales del edificio. A este tipo de dirección de caída se le conoce con el nombre de retardos en "diagonal".

El total de retardos utilizados varió desde el número 0 al 8, lo que significa que en 4 segundos se llevaron a cabo las detonaciones en todas y cada una de las columnas cargadas en el edificio. Como se puede observar los retardos utilizados en los estopines son los que nos determinan la secuencia de detonación de los explosivos y por lo tanto la caída.

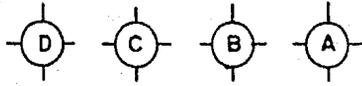


- (A) CABLES EN 5<sup>º</sup>, 4<sup>º</sup>, 3<sup>º</sup>, 2<sup>º</sup> Y 1<sup>er</sup> PISOS
- (B) CABLES EN 3<sup>er</sup> Y 1<sup>er</sup> PISOS.
- (C) CABLES EN 4<sup>º</sup>, 2<sup>º</sup> Y 1<sup>er</sup> PISOS.

- (D) CABLES EN 5<sup>º</sup>, 3<sup>º</sup>, 2<sup>º</sup> Y 1<sup>er</sup> PISOS
- DEMOLICION MANUAL Y RETIRO DE ESCOMBR
- PUNTALES DE 2 POLINES CON CONTRAVIENTO DE P. B A 4<sup>º</sup> NIVEL
- △ SECUENCIA DE CAIDA

**FIG. VI. I**

**EDIFICIO DURANGO N° 138**



NIVELES

7<sup>o</sup>

6<sup>o</sup>

5<sup>o</sup>

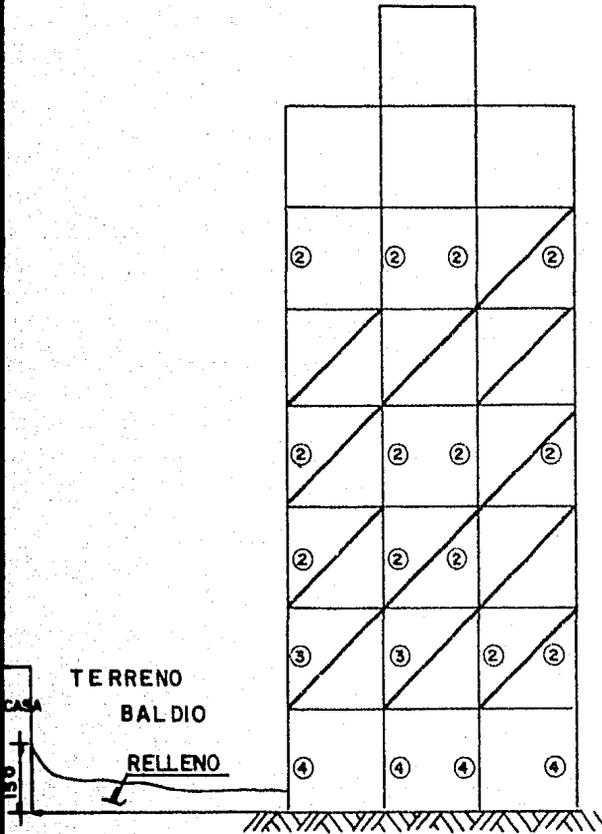
4<sup>o</sup>

3<sup>o</sup>

2<sup>o</sup>

1<sup>o</sup>

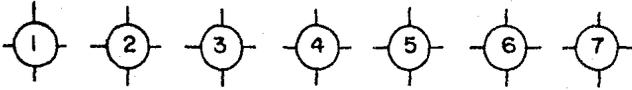
PB



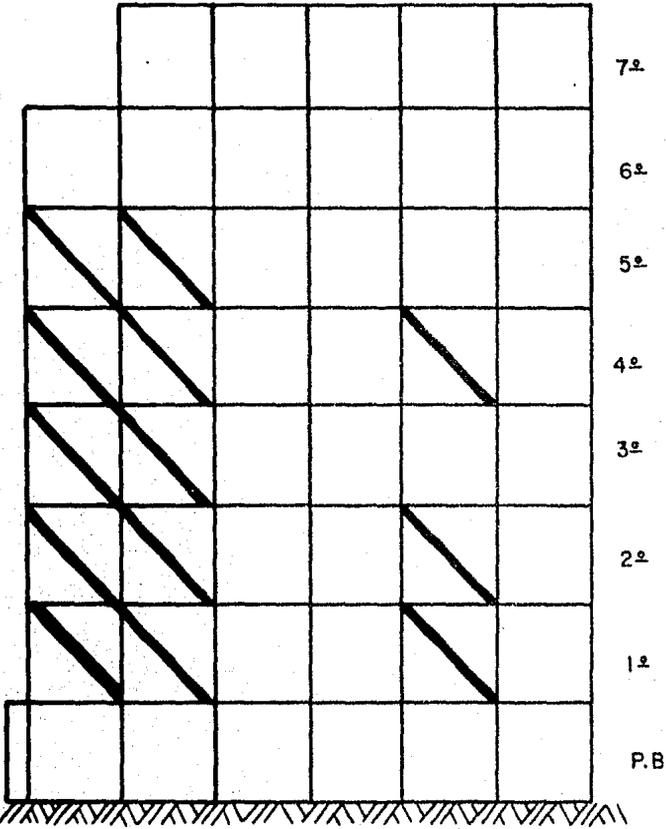
VISTA NORTE

- ② 2 BARRENOS
- ③ 3 BARRENOS
- ④ 4 BARRENOS

FIG. VI. 2.

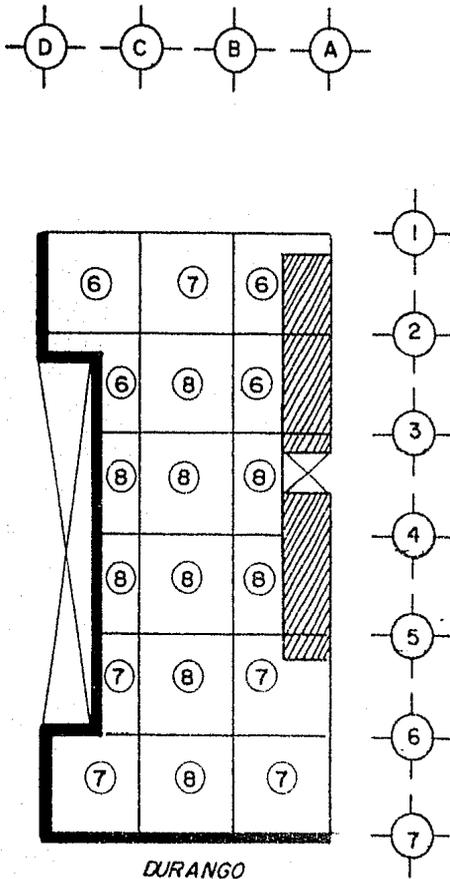


NIVELES



VISTA ORIENTE (CABLES)

FIG. VI. 3.



PLANTA



CORTINA DE PROTECCION EN P.B.



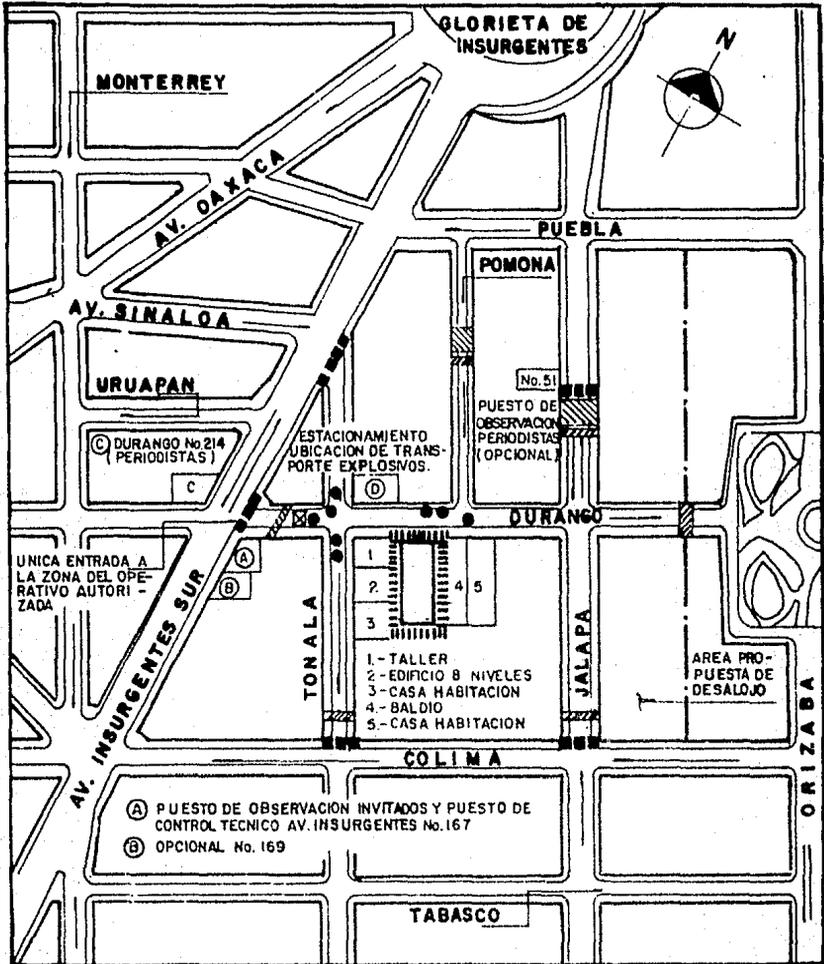
DEMOLICION MANUAL RETIRO DE ESCOMBRO



NUMERO DE NIVELES

FIG. VI. 4.





CORDON DE SEGURIDAD RESTRINGIDO AL PERSONAL DEL OPERATIVO 11:30 Hrs. EXCEPTO PERSONAL DE MANDO Y SISMOGRAFOS  
 ZONA UBICACION DE BOMBEROS E HIDROLAVADORAS.  
 CORDON DE SEGURIDAD RESTRINGIDO AL PUBLICO

CORDON DE SEGURIDAD PARTICULAR  
 ZONA A DEMOLER  
 PUESTO DE MANDO  
 CAJA DE TRAILERS

**FIG. VI. 6**

**EDIFICIO DURANGO # 138**

COLUMNA NIVEL	A-1	A-2	A-6	A-7	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	D-1	D-2	D-6	D-7
P. B.	—	—	3	3	8	6	6	5	4	2	2	7	5	5	5	2	2	1	5	5	1	0
1.00	8	7	3	2	8	7	6	4	3	3	2	7	6	5	4	3	2	0	6	5	1	1
2.00	—	—	—	—	8	7	6	6	4	2	2	7	6	5	4	3	2	1	6	5	1	0
3.00	—	—	5	4	8	2	7	6	5	4	3	8	7	6	5	4	3	2	8	7	2	0
5.00	—	—	5	4	8	8	7	6	5	5	4	8	7	6	5	4	3	3	8	7	0	0

TA B LA VI. 1 MANEJO DE RETARDOS ( DESIGNACION )

COLUMNA NIVEL	A-1	A-2	A-6	A-7	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	D-1	D-2	D-6	D-7	SUMA
P. B.	—	—	1210	1210	1210	1210	1210	3148	1452	1210	1210	1210	1452	1452	3148	1452	1452	1452	1210	1452	1452	1452	30250
1.00	726	726	726	726	726	726	847	847	847	847	1089	1089	1089	1271	1271	1271	1271	1089	1089	1089	1089	1089	21540
2.00	—	—	—	—	726	847	847	847	847	847	847	726	968	968	968	968	968	726	726	847	726	726	15125
3.00	—	—	363	363	363	484	484	605	605	484	484	363	484	605	726	605	605	484	363	484	605	242	9801
5.00	—	—	363	363	363	484	484	605	484	484	363	363	484	484	484	484	484	484	363	484	484	484	9075

TOTAL = 85704  
= 85.8 Kg.

TA B LA VI. 2 DOSIFICACION ( GRAMOS )

Las líneas que se marcan en la figura VI.1 que unen columnas con igual tiempo de retardo nos indican los planos de falla que se forman al eliminar simultáneamente los apoyos que se encuentren en dicha línea, con lo que se logra una mejor fragmentación ya que quedan esviajadas con respecto a los ejes de columnas.

Es importante señalar que las columnas A-1 y A-2, que fueron barrenadas, sólo se cargaron en el 1er. nivel para evitar posibles daños a la colindancias Poniente (edificio de 8 niveles) creando un mecanismo de falla o articulación a esa altura y jalando a los niveles superiores con cables ya previamente señalados en las preparaciones generales del edificio.

El esquema de retardos que se definió y la utilización de cables, son de los aspectos que pueden considerarse como puntos finos en el procedimiento de demolición con explosivos. Se debe tener especial cuidado en su diseño.

Para la dosificación, ésta se realizó con un promedio de cargado por barreno de 2.5 cartuchos; en la tabla VI.2. se puede apreciar la cantidad de explosivos por columna preparada en los diferentes niveles cargados. En P.B y 1er. nivel fue donde se colocó la mayor cantidad de explosivo. El total de éste utilizado fué de 85.8 Kg., de los cuales se distribuyeron 30.25 Kg. (35.26%) en P.B., 21.54 Kg. (25.10%) en 1er. nivel, 15.125 Kg. (17.63%) en 2º nivel, - 9.80 Kg (11.42%) en 3er. nivel y 9.08 Kg. (10.59%) en el Sto. nivel.

Por falta de espacio en este escrito, solamente se calcularán las series eléctricas para el último ejemplo de proyecto de demolición que es el edificio localizado en la calle de Monterrey No. 158, en la Col. Roma, por lo cual se omiten las correspondientes al edificio de Durango No. 138 tratado en este subcapítulo.

#### Demolición y resultados.

Es indispensable que durante la preparación del edificio se tomen estrictas medidas de seguridad. Se contó con una brigada de topógrafos que realizó el control de desplomes permanentes del edificio. Se inspeccionó continuamente el edificio por ingenieros en estructuras para detectar la aparición de grietas.

tas o deformaciones en los miembros estructurales y para señalar si había o no peligro para proseguir realizando las preparaciones, ya que estas implican un debilitamiento de la estructura.

Como ya se mencionó en el capítulo III, antes de cualquier demolición con explosivos debe conformarse un plan operativo y delimitar el área de acordamiento, la cual se muestra en la fig. VI.6. La demolición del edificio de Durango No. 138 se realizó el domingo 15 de Diciembre de 1985 a las 12 hrs. - en punto. Antes de apretar el botón de la máquina explosora CD-600, se chequeó que la resistencia calculada en las series y la medida con un multímetro u ohmetro fueran las mismas.

Después de realizar una estricta revisión de todos y cada uno de los aspectos que se marcan en el plan operativo de la demolición, previamente definido, se procedió a la detonación.

Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, cumpliéndose lo planeado. La fragmentación que se obtuvo fue de muy buena calidad y además no se causaron daños a construcciones vecinas fuera de las ya previstas.

La casa habitación localizada sobre la calle de Tonalá, del lado Oriente del edificio, que se apuntaló no sufrió ningún daño, lo mismo ocurrió con el edificio de 8 niveles y la casa habitación del lado Poniente. Las preparaciones realizadas en el taller funcionaron adecuadamente de acuerdo a lo previsto.

En general se puede decir que el sentido "diagonal" de los retardos funcionó -- muy bien, ya que la caída resultó exactamente de acuerdo a lo planeado, y además el cableado desarrolló su trabajo al "jalar" al edificio hacia el Nor---oriente, cumpliendo el papel para lo cual fue implementado.

Las protecciones cumplieron adecuadamente con su función, ya que no hubo rotura de cristales ni salida de proyectiles que pudieran poner en peligro la seguridad pública.

Se puede concluir, al evaluar la demolición, que el esquema de preparaciones (barrenación, cortes, demoliciones menores, protección y preparaciones especiales), el manejo de retardos y el cableado dieron resultados semejantes a los esperados.

## VI.2.- EDIFICIO EN EJE CENTRAL No. 28.

## Diagnóstico Estructural.

Inmueble : Oficinas Comerciales y Administrativas.

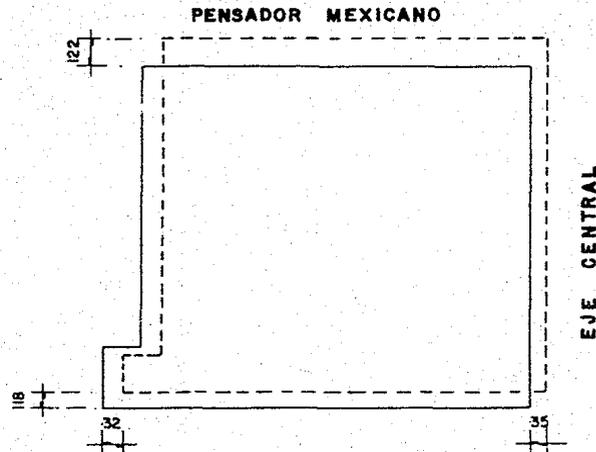
Dirección : Eje Central No. 28, Col. Centro, México D.F.

Descripción General: Edificio de sótano, 10 niveles tipo y 3 niveles irregulares en la parte superior. Estructurado a base de marcos de concreto reforzado y losas macizas. El edificio tiene muros de rigidización en los cubos de escaleras, de elevadores y cuartos de servicio. En general no hay muros divisorios de tabique. Se puede decir que la construcción es de configuración regular en planta; los niveles superiores se pueden considerar como apéndices.

En la parte Surponiente del inmueble se encuentran los restos de un teatro con cubierta a base de armaduras metálicas con techo de lámina de asbestos y gradas de concreto reforzado.

Observaciones : Por causa del temblor del 19 de Septiembre de 1985, ocurrido en la Cd. de México el edificio sufrió un desplome de 1.22 m. hacia el Norte, por lo que la estructura se vió notablemente afectada. Las columnas de planta baja sufrieron agrietamientos inclinados considerables, debido a la tensión diagonal; hubo 2 columnas que se aplastaron completamente debido a los efectos de la alta flexocompresión provocada por el temblor. Los muros de rigidización sufrieron fisuras a 45°, por lo que se deduce que trabajaron adecuadamente y ayudaron a responder de mejor manera a la estructura del edificio. Las trabes se fisuraron a 45°, debido a los efectos del fuerte córtante provocado por el sismo; es importante señalar que existen trabes con muy poco peralte en comparación con el tamaño de las columnas, lo cual no es muy recomendable al llevar acabo una estructuración.

Todos los muros de fachada se agrietaron. Las losas no presentaron ningún problema, lo mismo ocurrió con las rampas de escaleras. La estructura ya había sido reparada por efectos del temblor de 1957, con la adición de muros de rigidización.



**SIMBOLOGIA:**

- PARAMENTO ANTES DEL SISMO.
- - - - PARAMENTO DESPUES DEL SISMO.
- ACOTACION EN CENTIMETROS

**DESPLOMES EDIFICIO EJE CENTRAL # 28**

Recomendaciones : Debido que el desplome era de magnitud considerable, es relativamente difícil asegurar buenos resultados si se realizará una renovación del edificio. Además, como ya había sido reparado, resultaba antieconómico e inseguro intentar nuevamente ponerlo en funcionamiento.

A causa de la condición de inestabilidad estructural que se observa, se recomienda demolerlo lo más pronto posible porque representa un peligro latente para la seguridad pública.

Después de realizar el análisis de las diferentes opciones factibles de demolición y debido a que el dueño accedió a realizar el pago total de ésta, con tal de que fuera lo más rápido posible, este edificio se demolió con explosivos el día 5 de Enero de 1986.

Preparaciones en el Edificio.

Sótano.

Se eliminaron totalmente los muros interiores de tabique y de concreto. Ranuración de escaleras sin cortar el armado de refuerzo para evitar cualquier rigidización a la hora de la caída. Cortes a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Se realizaron cuatro o tres barrenaciones por columna, dependiendo de la localización de éstas. No se tocaron las columnas perimetrales del edificio. El total de barrenos fue de 240 unidades. La barrenación se realizó según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1. y IV.2). No hubo protección en columnas barrenadas ni colocación de cables por ser innecesarios.

Planta Baja.

Se demolieron completamente todos los muros interiores de concreto y de tabique. Los muros exteriores o perimetrales solamente se demolieron en lo necesario para poder llevar a cabo las preparaciones en las columnas. Ranuración

en escaleras sin cortar el acero de refuerzo. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm. Demolición de losas en el nivel mezzanine.

Se realizaron cinco, tres y dos barrenos en las columnas, dependiendo de su localización (ver preparaciones) y de acuerdo a las especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1. y IV.2.). La protección de las columnas preparadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.). El total de barrenos fue de 409.

Se colocaron 21 cables de 3/4" de diámetro de acuerdo a especificaciones del capítulo IV (fig. IV.3. a y IV.3.b.) en el lado sur del edificio.

Se realizó la demolición manual y retiro de escombros en la parte sur del edificio entre los ejes I y J, y retiro de cubierta metálica de lo que era el Teatro Coliseo. La demolición consistió en eliminar losas y muros en esa cruja para prevenir daños posibles en la colindancia Sur. (fig. VI. 7).

Colocación de cortina de protección en el lado Oriente, Poniente y Norte del edificio (fig. VI. 10 y fig. IV. 4.c.).

#### Primer Piso.

Se eliminaron completamente muros interiores de concreto y de tabique. Ranuración de escaleras sin cortar el acero de refuerzo. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Se realizaron dos barrenos por columna de acuerdo a las especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1 y IV.2). Es importante señalar que no todas las columnas del nivel fueron preparadas. El total de barrenos fue de 160. La protección en las columnas preparadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.).

Se colocaron 21 cables de 3/4" de diámetro de acuerdo a las especificaciones del capítulo IV (fig. IV.3.a. y b.) para ayudar a la caída del edificio previamente planeada. Se utilizaron ambos tipos debido a las condiciones estructurales de las columnas y de la facilidad para su colocación. Cortes a las gra

das de concreto reforzado que pertenecían al Teatro Coliseo, con el fin de -- evitar daños a la colindancia Sur del edificio, ya que se encontraban ligadas con el muro perimetral Sur.

En todos y cada uno de los pisos subsiguientes se realizó la demolición manual y retiro de escombros de manera parcial en el lado Sur del edificio (crujía - entre ejes I y J) con el fin de evitar daños a la construcción colindante --- (Burger Boy).

#### Tercer Piso.

Destrucción total de muros interiores de tabique y de concreto. Ranuración de escaleras sin cortar el acero de refuerzo. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Se realizaron dos barrenos por columna de acuerdo a las especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1 y IV.2.). No todas las columnas del nivel fueron preparadas. El total de barrenos fué de 188. La protección en las columnas preparadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.). No hubo colocación de cables.

#### Cuarto y Sexto Piso.

Demolición de muros interiores, únicamente los necesarios, para la colocación de cables del tipo I y II, de acuerdo a las especificaciones del capítulo IV (fig. IV.3.a. y b.). El total de tensores por entrepiso fué de 37 en el cuarto y de 14 en el sexto.

#### Quinto Piso.

Las preparaciones fueron semejantes a las del tercer piso, solamente que el - total de barrenaciones fueron de 160 y de igual manera, no todas las columnas del entrepiso se barrenaron.

### Séptimo Piso.

Preparaciones semejantes al tercer nivel solamente que el número de columnas preparadas fue menor, dando un total de 98 barrenaciones en el entrepiso en cuestión.

Las preparaciones generales del edificio se pueden observar en las figuras -- subsiguientes con suficiente claridad.

Preparaciones en colindancias e instalaciones cercanas :

En la fig. VI. 10 se puede ver la planta de colindancias del edificio "El Porvenir", en donde se observa que la única construcción con posibles daños es el Burger Boy, ubicado en la parte Sur de éste edificio. Del lado Poniente únicamente se encuentran cuartos de servicio a base de muros de tabique, por lo cual no presentan ningún problema. De el lado Oriente se tiene una arteria importante de vialidad como lo es el Eje Central con lo cual no es posible planear la caída hacia esta dirección.

De acuerdo a las preparaciones previamente presentadas, la única opción factible de caída es hacia el lado Norte o Norponiente; por lo cual se presentará un posible "pateo" del edificio por demoler, a la hora de la caída hacia la dirección Sur con lo que será necesario realizar algunas preparaciones especiales tanto en la estructura por demoler con explosivos como en su colindancia Sur (Burger Boy).

Como ya se señaló en las preparaciones previamente descritas, el lado Sur del edificio se demolió parcialmente para aligerar el peso de la construcción en esa zona y prevenir posibles daños al Burger Boy a la hora de la detonación.

En la construcción correspondiente al Burger Boy, se realizó un corte longitudinal de 50 cm. de ancho en ambos niveles, a una separación del edificio "El Porvenir" de 275 cm. (fig. VI, 11, 12 y 13) para contrarrestar el posible daño a toda la estructura, por causa del golpeo del edificio por demoler a la hora de la caída. Esto se realizó para prevenir posibles daños mayores al -- Burger Boy, ya que de ocurrir el golpeteo, éste no se propague a toda la es---

estructura y resulte antieconómica la demolición o a un mayor costo debido a daños a colindancias o construcciones vecinas.

La preparación consistió en demoler manualmente el concreto de losas y trabes de ambos niveles del edificio de Burger Boy, sin llevar acabo el corte de acero de refuerzo en ambos elementos, para que de esta forma si la estructura no era tocada, solamente fuera restituido el concreto demolido con uso de aditivos estabilizadores de volumen y adhesivos que se aseguren nuevamente la continuidad de los elementos estructurales.

Antes de realizar el corte longitudinal en el inmueble de Burger Boy, se colocó el apuntalamiento respectivo necesario, que asegurará la estabilidad de la construcción a la hora de realizar el corte y la demolición parcial de losas y trabes. (ver fig. VI.11, VI.12 y VI.13).

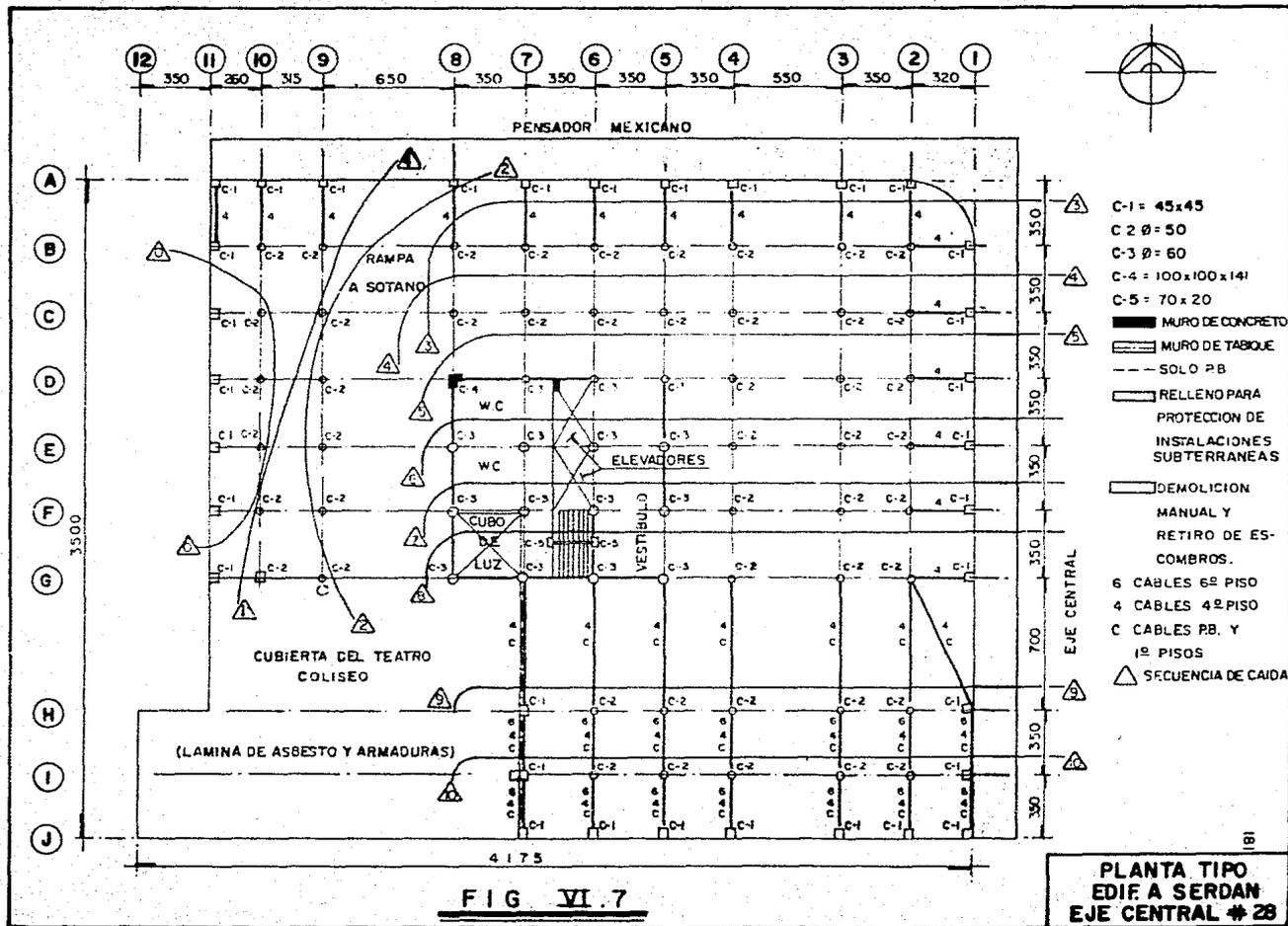
En los cuartos de servicio de la C.F.E. se optó por retirar la cubierta de éstos para ser colocada nuevamente después de realizada la demolición con la --restitución de los muros afectados.

Se colocó un colchón de tierra suelta (tezontle y tepetate) para la protec---ción de instalaciones subterráneas como lo son cables de teléfonos, de alta -tensión, sistema de agua potable, etc. de aproximadamente 50 cm. de espesor -como se marca en la fig. VI.7.

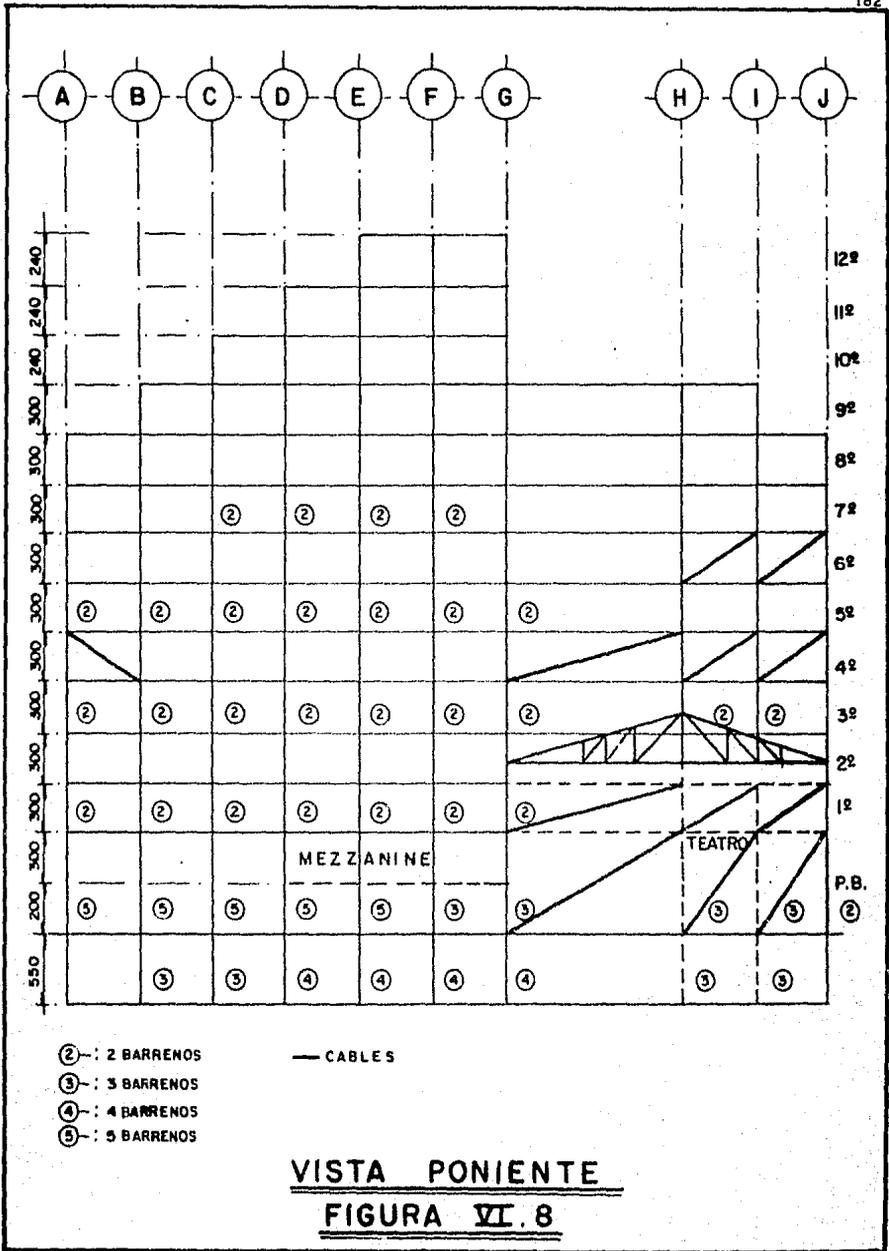
No fue necesaria la protección de puertas y ventanas de construcciones cercanas por efecto del golpe de aire, debido a que las columnas perimetrales del edificio fueron cargadas con poca cantidad de explosivos con lo que el golpe de aire y la salida de proyectiles sería mínima. Se colocaron cajas de trailers vacías para contrarestar el golpe de aire que en realidad, como ya se señaló, fue reducido.

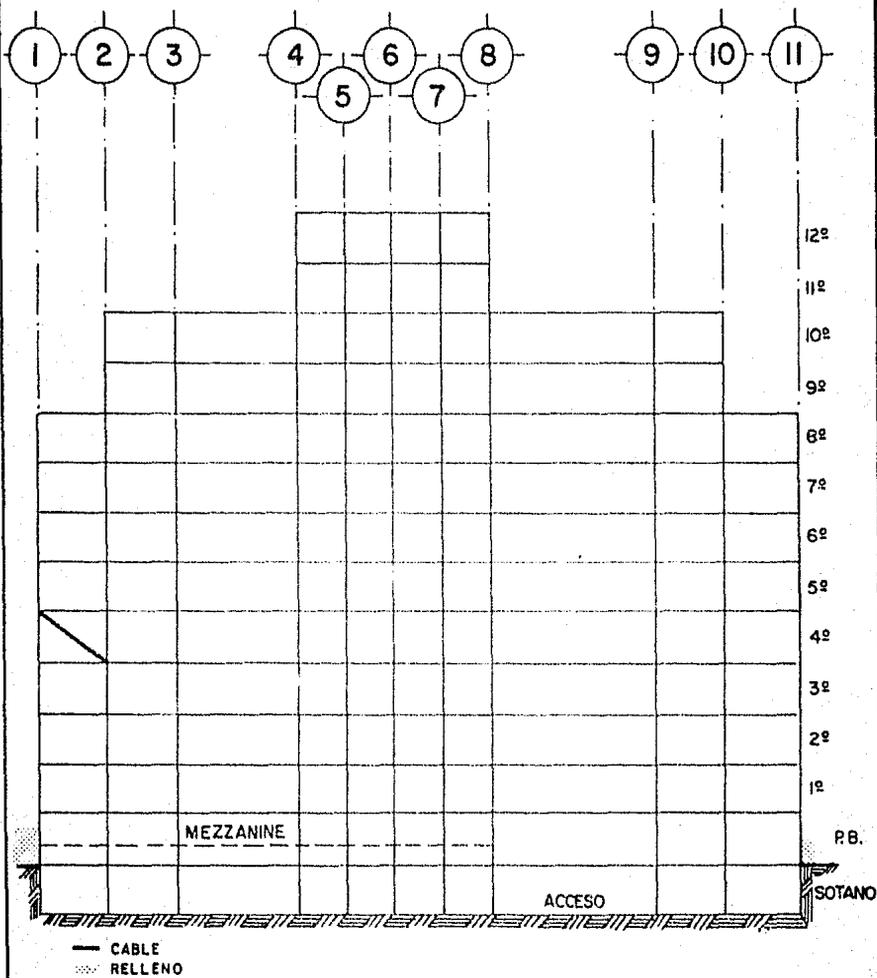
Se cortó la circulación vehicular en la zona de demolición 15 minutos antes -de la detonación.

El área total de construcción demolida fué de 15237 m<sup>2</sup> con un peso de 6138.6 toneladas. El total de barrenos fue de 1255 unidades y 72 cables de 3/4" de

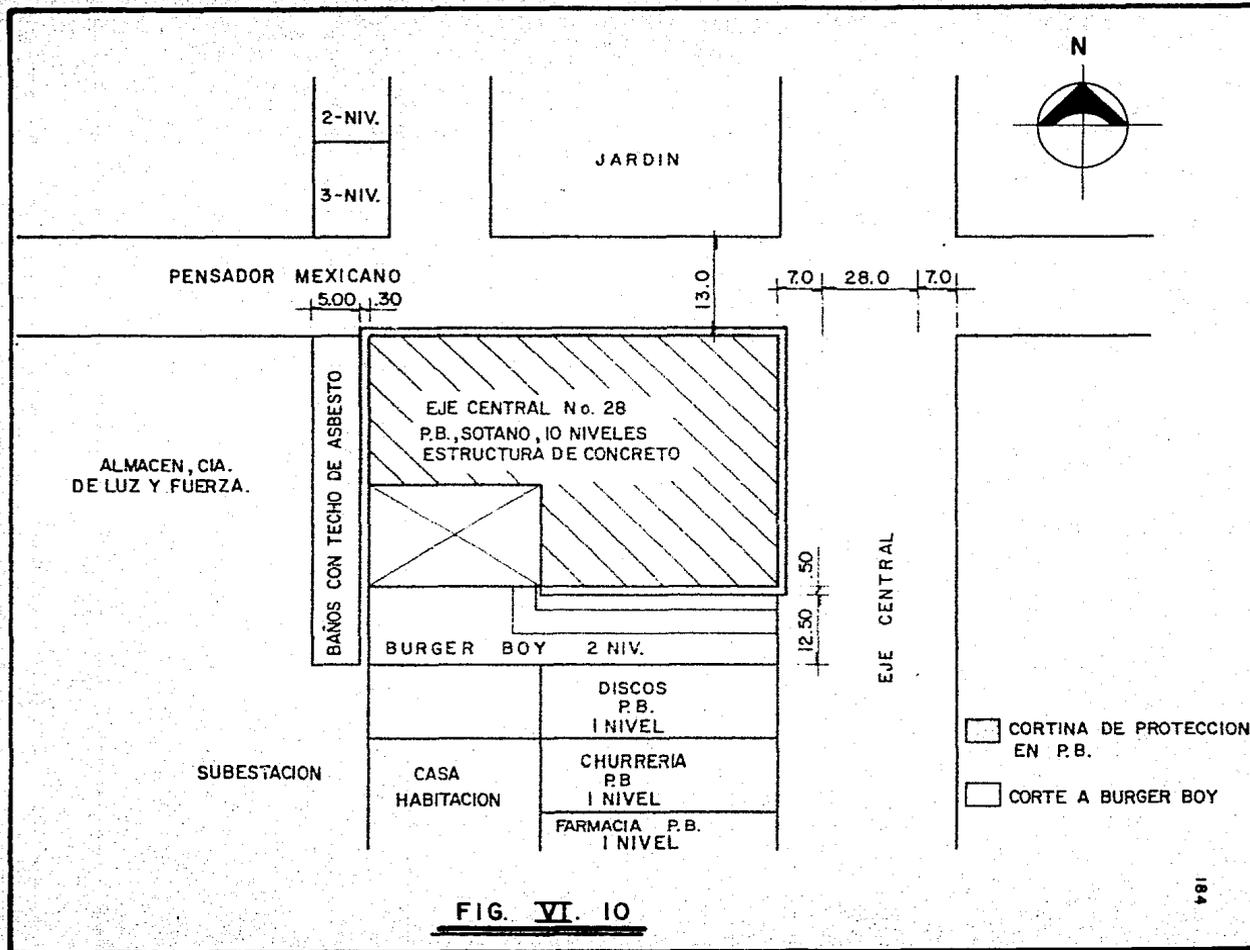


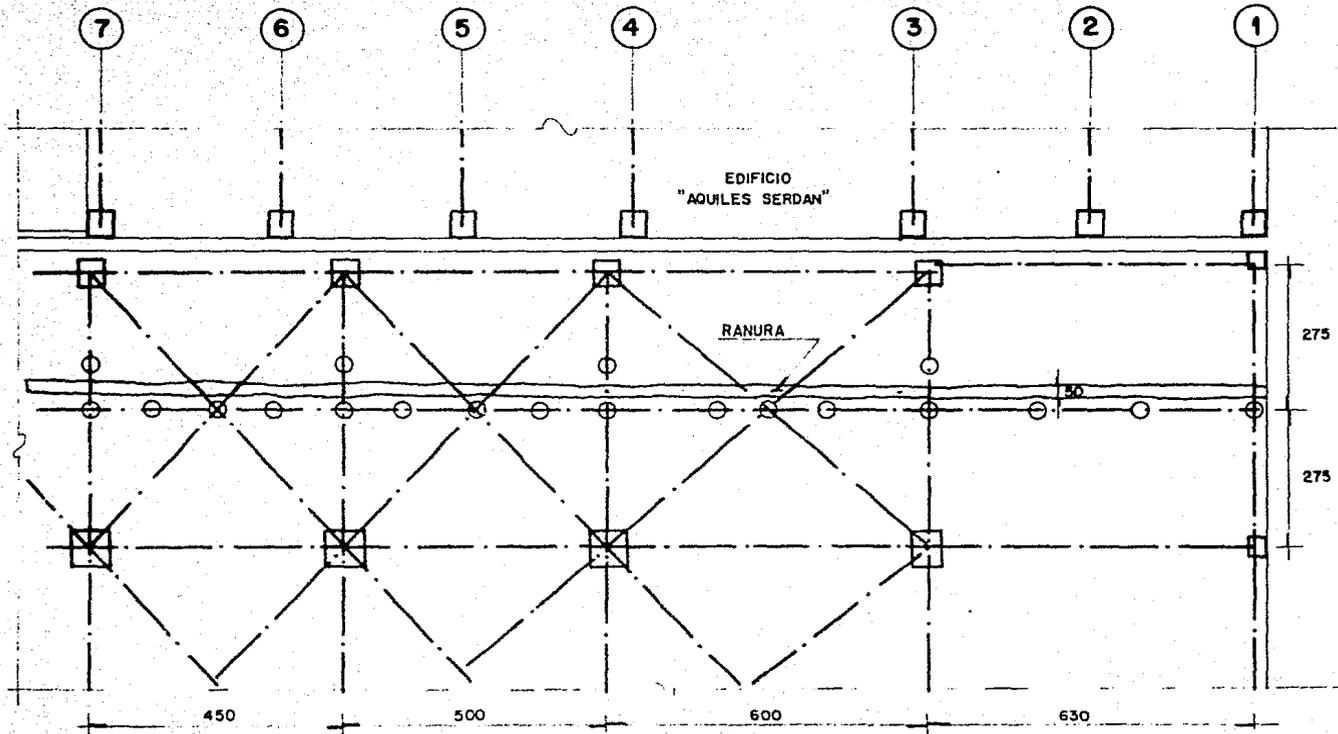
**PLANTA TIPO  
EDIF A SERDAN  
EJE CENTRAL # 28**





VISTA NORTE  
FIGURA VI. 9

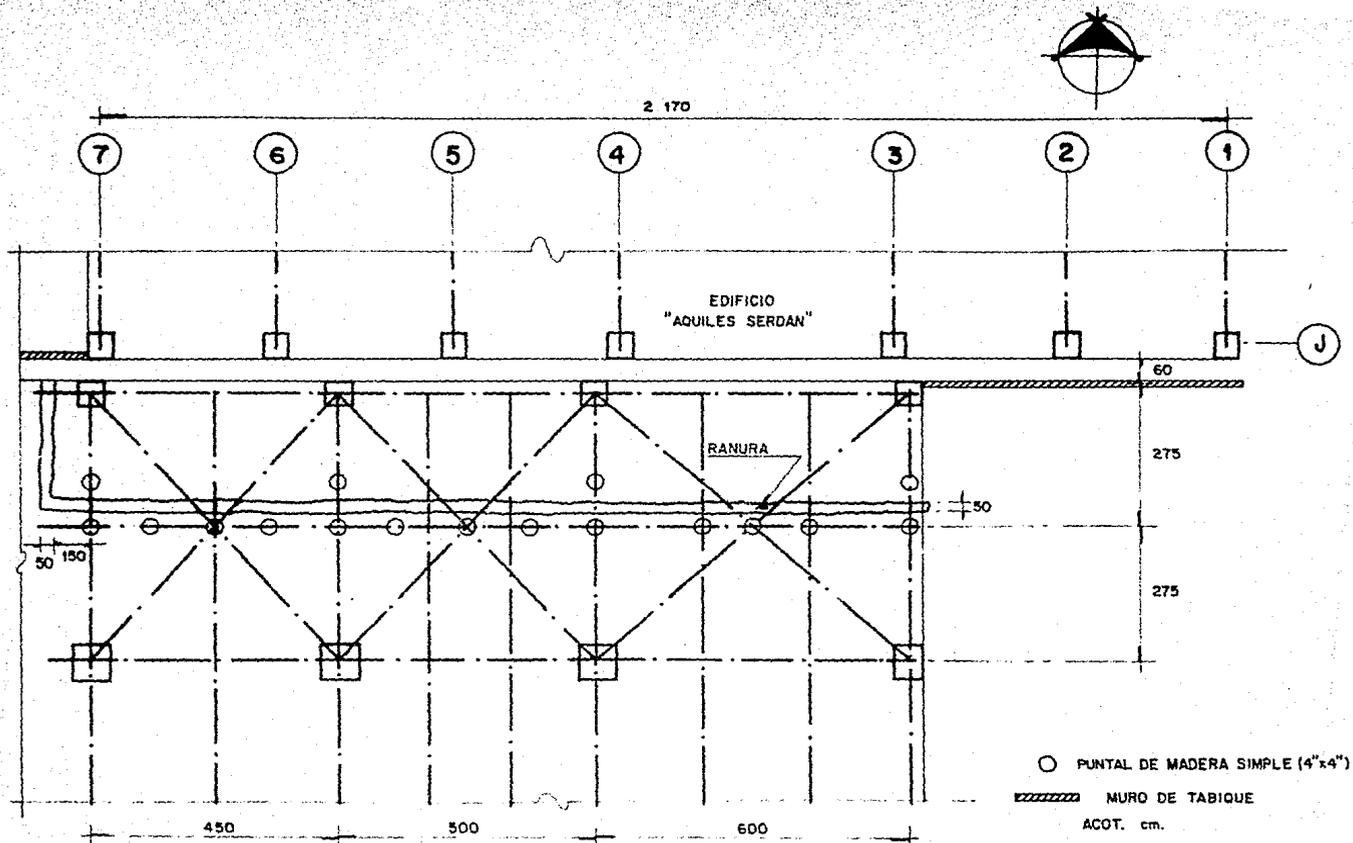




**PLANTA 1º NIVEL**  
**(BURGER BOY)**

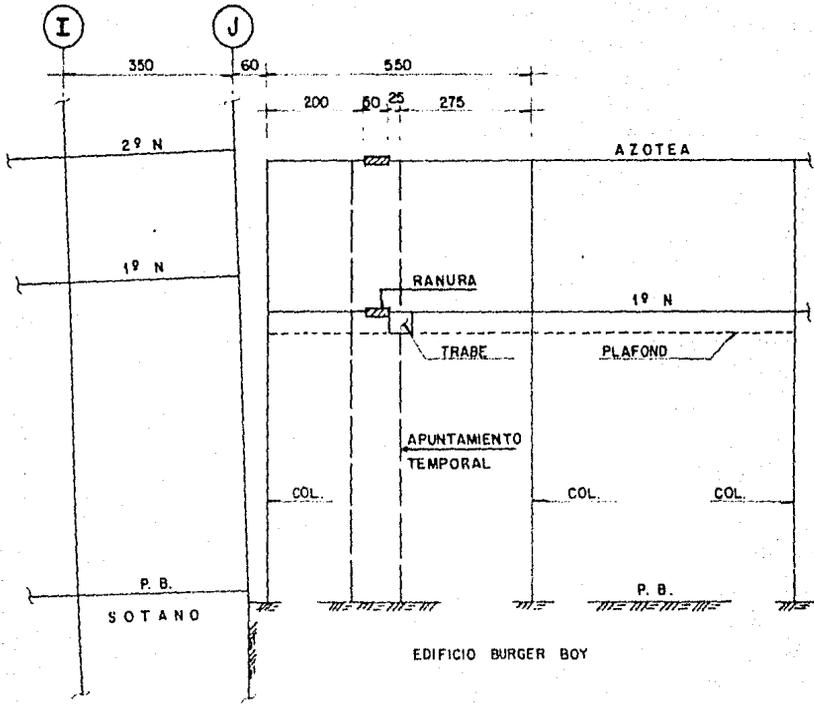
**FIG. VI. II**

○ PUNTA DE MADERA  
(2 POLINES 4" x 4")  
ACOT. cm.



**PLANTA AZOTEA**  
**(BURGER BOY)**

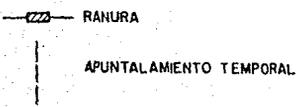
**FIG. VI.12**



EDIFICIO AQUILES SERDAN

EDIFICIO BURGER BOY

## VISTA ORIENTE



**FIG. VI.13 PREPARACION EN COLINDANCIAS**

diámetro como se muestran en las respectivas figuras de las preparaciones previamente presentadas.

#### Manejo de retardos y dosificación.

Debido a que la construcción presentaba un desplome considerable en dirección Norte (122 cm.) y era el único lugar hacia el cual se tenía espacio libre para la caída, ya que en las otras tres direcciones se tenían limitaciones de colindancias y vialidad, se decidió demoler al edificio hacia este sentido.-- Todas y cada una de las preparaciones realizadas, que se presentaron con anterioridad, fueron previamente planeadas para cumplir con este objetivo principal.

En la tabla VI.3. se anotan los retardos utilizados por columna en cada uno de los niveles cargados, los cuales si se superponen nos enmarcan el "arco" secuencial de caída, el cual se puede observar claramente en la fig. VI. 7.

El objetivo primordial de demoler un edificio con explosivos, es el de que la estructura se desplome en la dirección deseada y que la fragmentación del mismo sea adecuada. Con el trazo de una línea imaginaria que una, en una planta cualquiera, columnas con igual tiempo de retardo, nos indicará un plano de falla, que se formará al eliminar simultáneamente los apoyos que están en dicha línea. Es importante recalcar que las líneas quedan esviajadas con respecto a los ejes de las columnas para lograr una mejor fragmentación que es lo que se busca con el "arco" secuencial de caída, utilizado en este edificio (ver fig. VI.7.).

El total de retardos utilizados varió desde el número 0 al 10, lo que significa que fueron necesarios 5 segundos para lograr la detonación total de las columnas cargadas. Con estos retardos se condicionó la forma de caída del edificio; las características de éste y las restricciones de colindancias ya señaladas fueron las que fundamentalmente nos definieron el esquema de posición de los retardos.

Es importante señalar que las columnas colindantes con la construcción del Burger Boy (eje J) no fueron cargadas, por lo que con los cables localizados

COL. NV.	A2	A3	4A	5A	6A	7A	8A	9A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	E1	E2	E3				
SODNO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	2	2	2	2	2	-	-	5	5	5	5	5	5	5	0	0	-	6	6	6	6	6	6	5	0	0	-	-	7	7	
P.B.	3	3	3	3	3	3	3	2	2	7	3	7	7	7	7	7	4	2	2	5	5	5	5	5	5	2	2	2	6	6	6	6	6	6	5	2	0	0	7	7	7	
19	3	3	3	3	3	3	3	2	2	7	3	7	7	7	7	7	4	2	2	5	5	5	5	5	5	2	2	2	6	6	6	6	6	6	5	2	0	0	7	7	7	
39	3	3	3	3	3	3	2	2	2	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	0	5	5	5	5	5	4	5	2	0	0	6	6	6	6	6	5	4	0	0	7	7	7
50	3	3	3	3	3	3	2	2	2	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	0	5	5	5	5	5	4	5	2	0	0	6	6	6	6	6	5	4	0	0	7	7	7
75	3	3	3	3	3	3	2	2	2	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	0	5	5	5	5	5	5	2	0	0	6	6	6	6	6	5	4	0	0	7	7	7	

COL. NV.	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7			
SODNO	7	7	6	7	5	0	0	-	8	8	8	8	7	8	5	4	4	-	-	-	7	8	6	6	6	6	6	8	4	4	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
P.B.	7	7	7	7	6	0	0	0	8	8	8	8	8	7	7	5	2	2	8	8	7	7	7	7	7	8	8	6	6	6	2	-	-	9	9	9	9	9	9	9	-	-	10	10	10	10	9	9
19	7	7	7	7	6	0	0	0	8	8	8	8	8	7	7	5	2	2	8	8	7	7	7	7	7	8	8	6	6	6	2	-	-	9	9	9	9	9	9	-	-	10	10	10	10	9	9	
39	7	7	7	5	5	5	0	2	9	8	8	8	8	7	6	4	4	2	8	8	9	9	9	9	9	9	7	8	6	4	2	9	9	9	9	9	9	-	-	-	-	10	10	10	10	10	-	
59	7	7	7	5	5	5	0	2	9	8	8	8	8	7	6	4	4	2	8	8	9	9	9	9	9	9	7	8	6	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
79	7	7	7	6	6	3	0	0	8	8	8	8	8	8	8	5	2	2	8	8	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

TABLA. VI.3 MANEJO DE RETARDOS ( DESIGNACION )

en 6º, 4º y 1er. piso se logró crear un mecanismo de falla a la altura intermedia de las columnas del primer entrepiso, ya que solamente se barrenaron estas, con lo que se previno posibles daños a la colindancia Sur.

El promedio de cargado por barreno en las columnas preparadas fue de 2 cartuchos; en la tabla VI.4 se anotan las cantidades de explosivos, en gramos, colocados en cada uno de éstas. Como es recomendable, en sótano, planta baja y primer nivel fue donde se colocó la mayor cantidad de explosivos. El total de éste, utilizado en todo el edificio fue de 245.338 kg., los cuales se distribuyeron de la siguiente manera: 68.012 kg (27.72%) en sótano, 65.362 kg -- (26.64%) en planta baja, 56.465 kg (23.01%) en primer nivel, 26.022 kg ----- (10.60%) en tercer nivel, 19.490 kg (7.94%) en quinto nivel y 9.987 kg ----- (4.07%) en séptimo nivel.

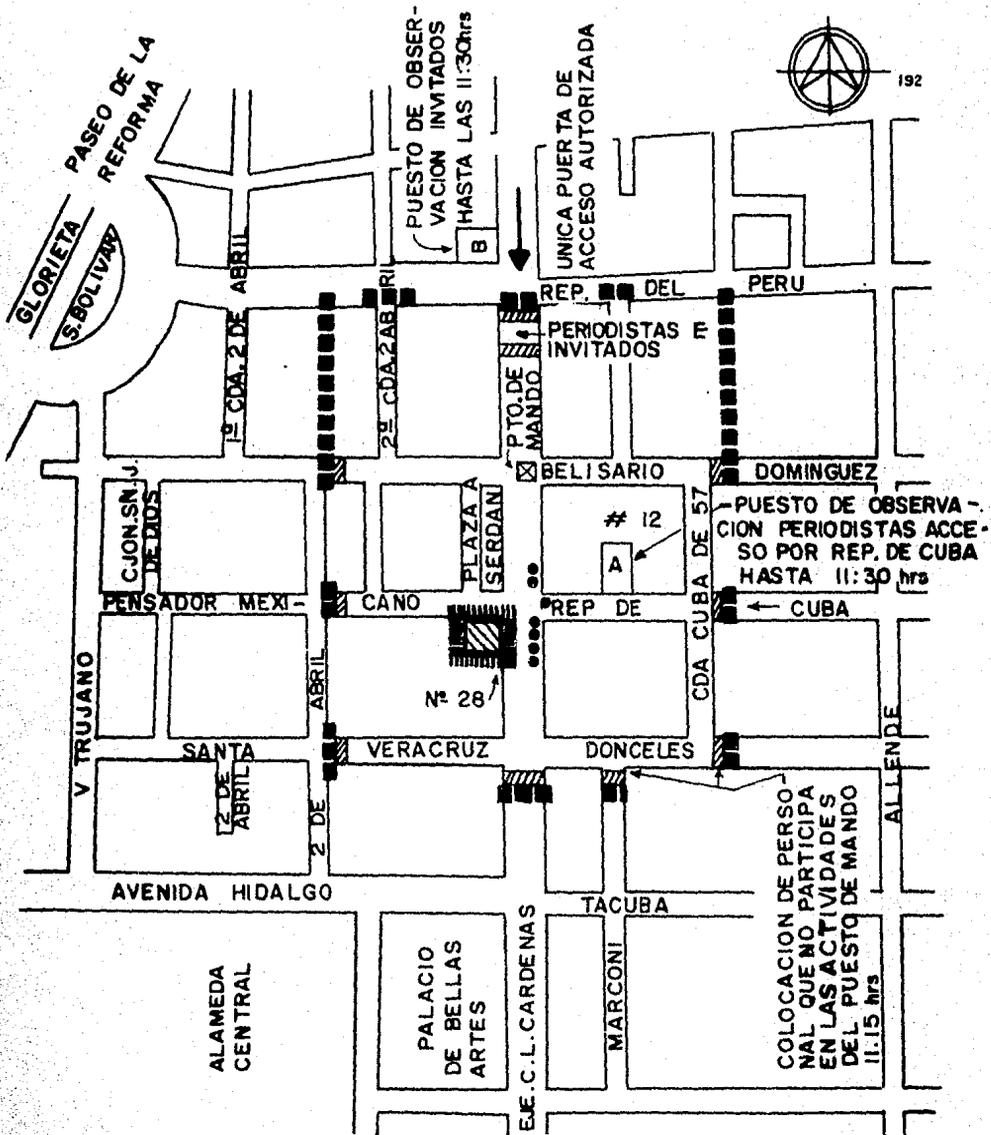
#### Demolición y resultados.

La alta tecnología desarrollada en la industria de los explosivos, permite -- aplicar este sistema, en zonas urbanas, con un alto grado de confiabilidad. -- Es conveniente, sin embargo, que antes de realizar cualquier demolición con -- explosivos se conforme con anterioridad el plan operativo en el que se delimita el área de acordonamiento, la cual se muestra en la fig. VI.14. Durante -- la preparación del edificio se tomaron estrictas medidas de seguridad y se -- contó con una brigada de topógrafos que realizó el control permanente del edificio y se insepccionó continuamente para detectar la aparición de grietas -- y/o deformaciones en los miembros estructurales que pudieran poner en peligro al personal encargado de realizar las preparaciones.

La demolición del edificio "El Porvenir", localizado en la Av. Eje Central -- No. 28, se realizó el día 5 de Enero de 1986 a las 16:30 hrs.

Antes de apretar el botón detonador de la máquina explosora se checó que la -- resistencia teórica o calculada y la medida con un multímetro, fueran las mis -- mas. Después de realizar una estricta revisión de todos y cada uno de los as -- pectos que se marcan en el plan operativo de la demolición previamente defini -- do, se procedió a la detonación.





**SIMBOLOGIA**

- ■ ■ CORDON DE SEGURIDAD PARA EL EDIFICIO
- ■ ■ CORDON DE SEGURIDAD PARTICULAR
- ▨ ZONA POR DEMOLER
- PUESTO DE MANDO
- CAJAS DE TRAILERS VACIAS

**FIG. VI. 14**

**EDIF. EJE CENTRAL N° 28**

Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, cumpliéndose lo planteado, ya que la fragmentación que se obtuvo fue de muy buena calidad y además no se ocasionó ningún daño a las colindancias vecinas, sobre todo al Burger Boy, el cual se preparó previniendo posibles daños. Por lo tanto solamente se restituyó el concreto demolido en las franjas de corte realizadas (fig. VI. 11, 12 y 13).

No se dañaron ningún tipo de instalaciones subterráneas.

En conclusión se puede decir que el sistema de retardos en forma de "arco" -- funcionó adecuadamente, dando como resultado una caída de acuerdo a la dirección planeada. El cableado colocado cumplió con su cometido, ya que despegó suficientemente el edificio de su colindancia Sur (Burger Boy) y formó el mecanismo de falla o articulación en el primer piso de acuerdo a lo esperado.

Las protecciones cumplieron con su objetivo, ya que no hubo problemas de rotura de cristales de ventanas y puertas ni salida de proyectiles que pudieran poner en peligro la seguridad pública.

Se puede decir, con base en la evaluación de la demolición, que el esquema de preparaciones (barrenación, cortes, demoliciones menores, protección y preparaciones especiales), el manejo de retardos y el cableado, dieron resultados bastante satisfactorios de acuerdo a lo previsto.

## VI.3.- EDIFICIO EN MONTERREY No. 158, COL. ROMA.

## Diagnóstico Estructural.

Inmueble : Oficinas administrativas.

Dirección : Monterrey No. 158, Col. Roma, México, D.F.

## Descripción General :

Edificio de 12 niveles y sótano. Estructurado a base de columnas y losa plana aligerada en forma de panal o de "waffle". Alta densidad de muros de concreto en todo el perímetro, construidos por reestructuración de daños causados por el sismo de 1979. Muros no estructurales en la zona central (cubo de elevadores y escaleras).

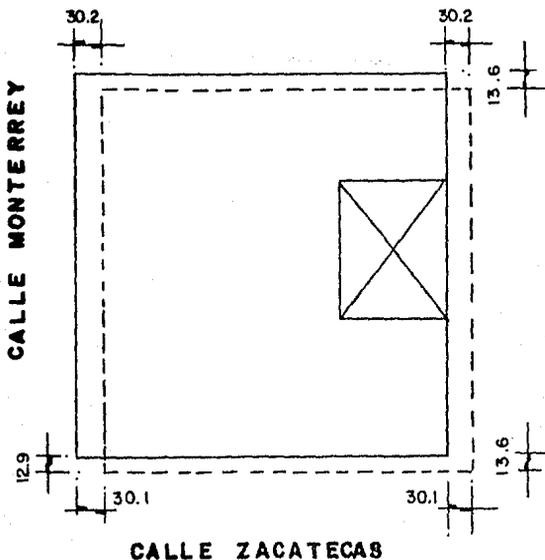
## Observaciones :

Por causa del sismo ocurrido en la Cd. de México, el pasado septiembre de 1985, gran parte de las columnas sufrieron agrietamientos inclinados, indicando fallas por tensión diagonal, orientadas en dos direcciones, provocadas por la inversión de esfuerzos. Es apreciable un desplome hacia el Oriente de 30.2 cm.- En varios entresijos las losas sufrieron agrietamientos y también se observa el deslizamiento y/o punzonamiento de las columnas en los capiteles de estructura de la losa reticular provocada por la tensión diagonal. En general el sistema de piso fue demasiado flexible.

La asimetría que presentan los muros de concreto reforzado, en planta, provocaron excesivas torsiones en la zona central, lo que ocasionó el agrietamiento en las columnas ubicadas en dicha zona. Todos los elementos no estructurales se colapsaron o agrietaron. Es perceptible el ondulamiento en la losa, principalmente en los pisos intermedios. Algunos muros perimetrales de concreto reforzado se agrietaron.

## Recomendaciones :

El edificio se encuentra seriamente dañado, resulta antieconómico e inseguro - realizar una nueva reestructuración. Debido a la inestabilidad que presenta - es necesario demolerlo, ya que además es un peligro para la seguridad pública



**SIMBOLOGIA:**

- PARAMENTO ANTES DEL SISMO
  - - - PARAMENTO DESPUES DEL SISMO
- ACOTACIONES EN CM.

**DESPLOMES EDIFICIO MONTERREY No. 158**

tanto para construcciones vecinas aún habitadas como para el paso de peatones y/o vehículos en su periferia.

Después de considerar los diversos factores que siempre deben de tomarse en -- cuenta para llegar a la decisión de demoler un edificio y analizando los diver -- sos procedimientos para hacerlo, con sus respectivos análisis de costos, se -- optó por destruir este con el método de explosivos.

Es importante señalar que este edificio fue el primero en demolerse con explo -- sivos completamente por técnicos mexicanos, sin ninguna asesoría extranjera.

Preparaciones en el edificio.

Sótano.

Se eliminaron todos los muros interiores de concreto y tabique, se demolieron

algunas losas para unir las celdas de cimentación y facilitar la extracción de agua que existía. Ranuración en rampas para automóviles sin cortar acero de refuerzo. Demolición de cubo de elevadores y escaleras.

Cuatro barrenos por columna en la zona central, en las 3 columnas de rampa se hicieron dos, tres y cuatro respectivamente. Barrenación de acuerdo a las especificaciones tratadas en el capítulo IV (fig. IV.1 y fig. IV.2.). El total de barrenos fue de 36 unidades.

No se colocaron cables ni protección a columnas cargadas por ser innecesario.

#### Planta Baja,

Demolición total de muros interiores y exteriores de concreto y tabique, cubo de elevadores y escaleras. Ranuración de escaleras sin cortar acero de refuerzo. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Cuatro barrenos por columna con un total de 109 unidades; éstos se realizaron según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1 y fig. IV.2). La protección en columnas barrenadas fué del tipo II (fig. IV. 4.b.).

Colocación de cortina de protección en todo el perímetro del edificio, sin dejar ninguna ranura, de acuerdo a lo especificado en el capítulo IV (fig. IV.4,c.).

#### Primer Piso,

Demolición total de muros interiores y exteriores de concreto y de tabique, cubo de elevadores y escaleras. Ranuración de escaleras sin cortar acero de refuerzo. Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Tres barrenos por columna con un total de 75 unidades; éstos se realizaron según especificaciones del capítulo IV (fig. IV.1. y IV.2.). La protección en columnas barrenadas fué del tipo II (fig. IV.4.b.).

#### Tercero, Quinto y Séptimo Piso.

Demolición de muros interiores y exteriores de concreto y tabique, cubo de ele

vadores y escaleras. Ranuración de escaleras sin cortar acero de refuerzo.---  
Corte a guías metálicas de elevadores en una longitud de 120 cm.

Dos barrenos por columna con un total de 48 unidades; éstos se realizaron se--  
gún especificaciones señaladas en el capítulo IV (fig. IV.1. y fig. IV.2.).-  
La protección en columnas barrenadas fue del tipo II (fig. IV.4.b.).

Segundo, Cuarto y Sexto Piso.

Se "costuró" en "U" el muro de concreto de la fachada Oriente en el eje 1 en--  
tre D y E a 150 cm. de altura, para evitar la rigidización o desviación de la  
estructura a la hora de la caída.

Cuarto y Sexto Piso.

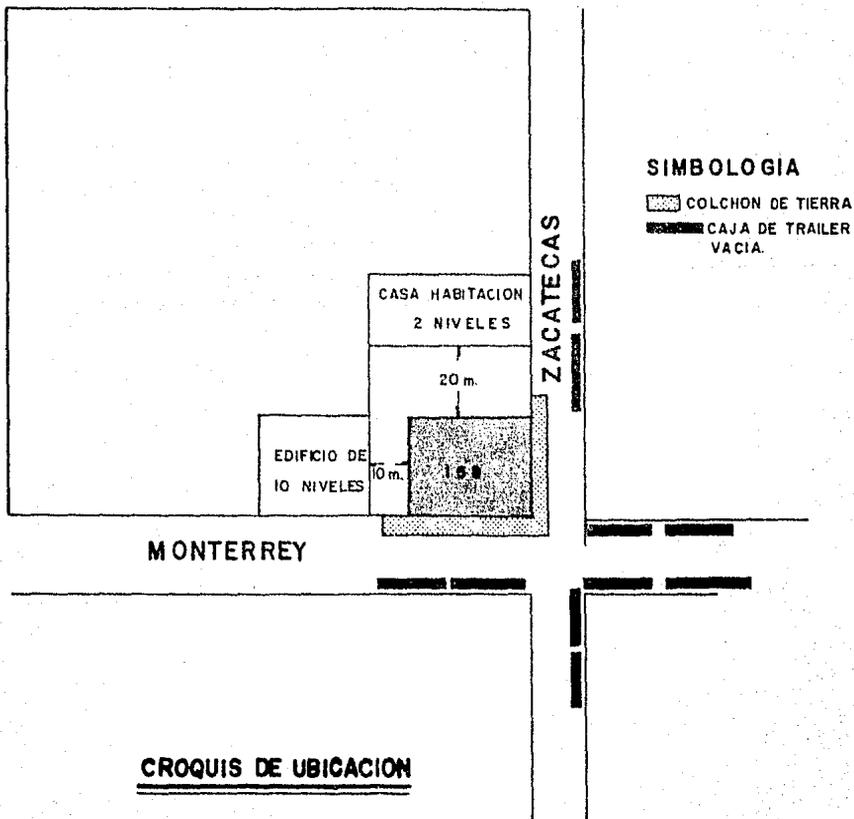
Se colocaron dos estrobos o cables por piso, localizados desde la columna A-3  
a la columna B-2 y de la A-4 a la B-3. Los cables fueron del tipo II (fig. --  
IV.3.b.).

En las figuras siguientes se muestran con suficiente claridad las preparacio--  
nes realizadas en el edificio, previamente mencionadas, además del programa de  
trabajo.

Preparaciones en Colindancias e Instalaciones cercanas.

Como se puede observar en el croquis de ubicación del edificio de Monterrey --  
No. 158 no existen construcciones colindantes cercanas, ya que se encuentra lo  
cálizado en un lote de esquina y además en los lados Oriente y Norte se tienen  
terrenos baldíos (fig. VI.15). Por lo tanto no fue necesario realizar alguna  
preparación especial porque las construcciones cercanas se encontraban en per--  
fectas condiciones.

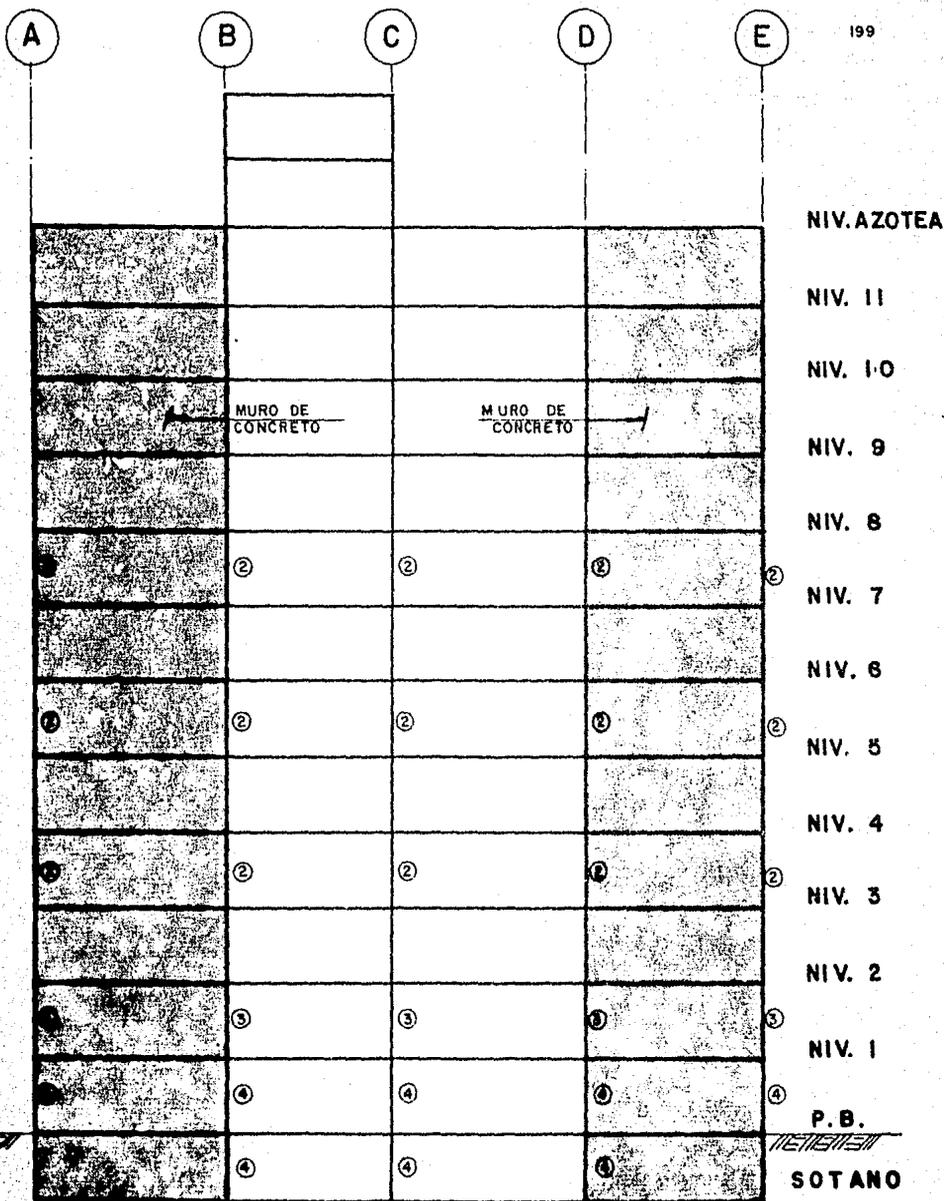
Es importante mencionar que el edificio localizado en la calle de Monterrey --  
No. 156 sí sufrió daños estructurales algo considerables, pero estos fueron --  
eliminados antes de llevar a cabo la demolición del edificio de Monterrey No.  
158, por parte del propietario del inmueble y de acuerdo al reglamento de emer--  
gencia para construcciones en el Distrito Federal.



CROQUIS DE UBICACION

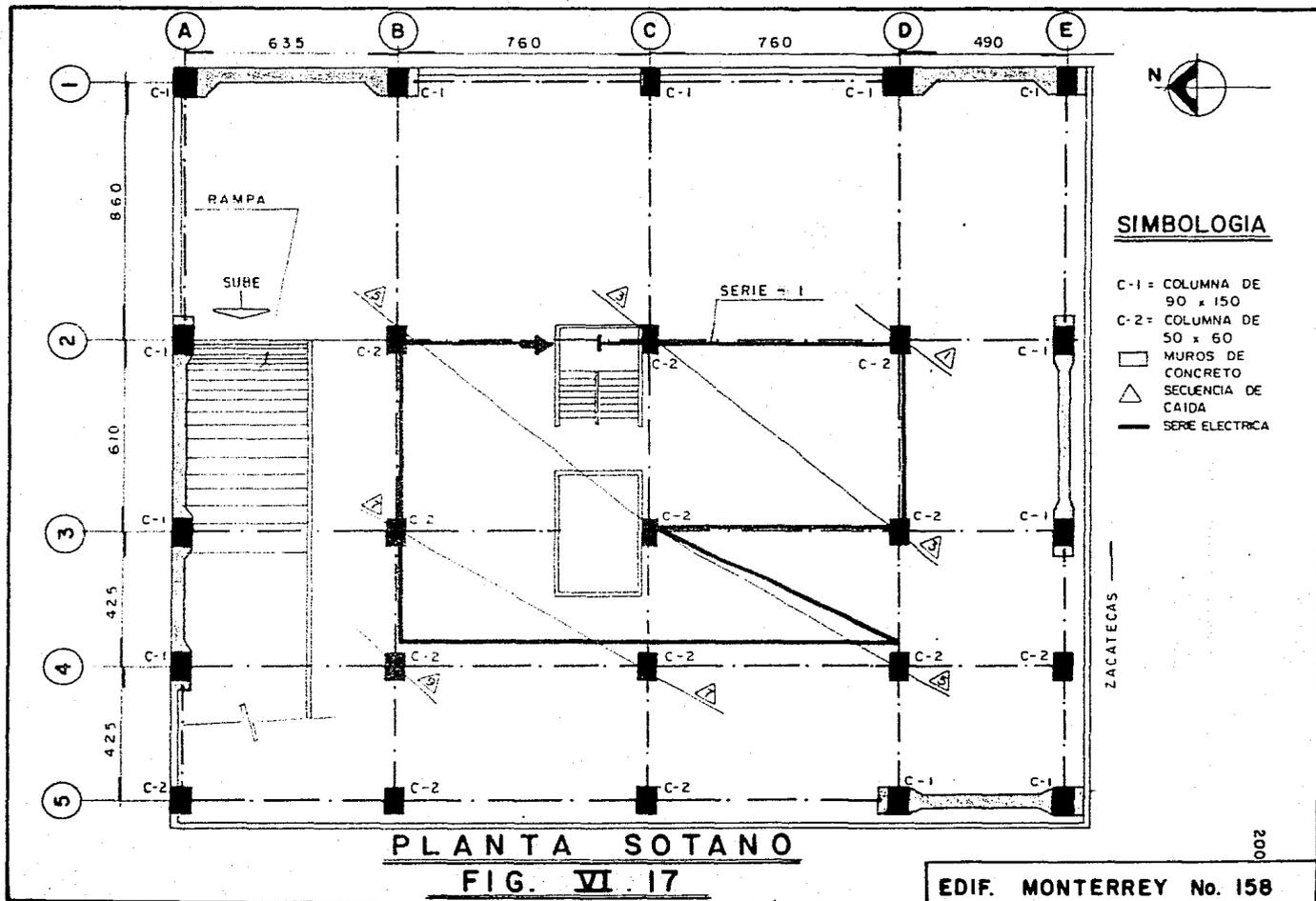
FIG. VI - 15

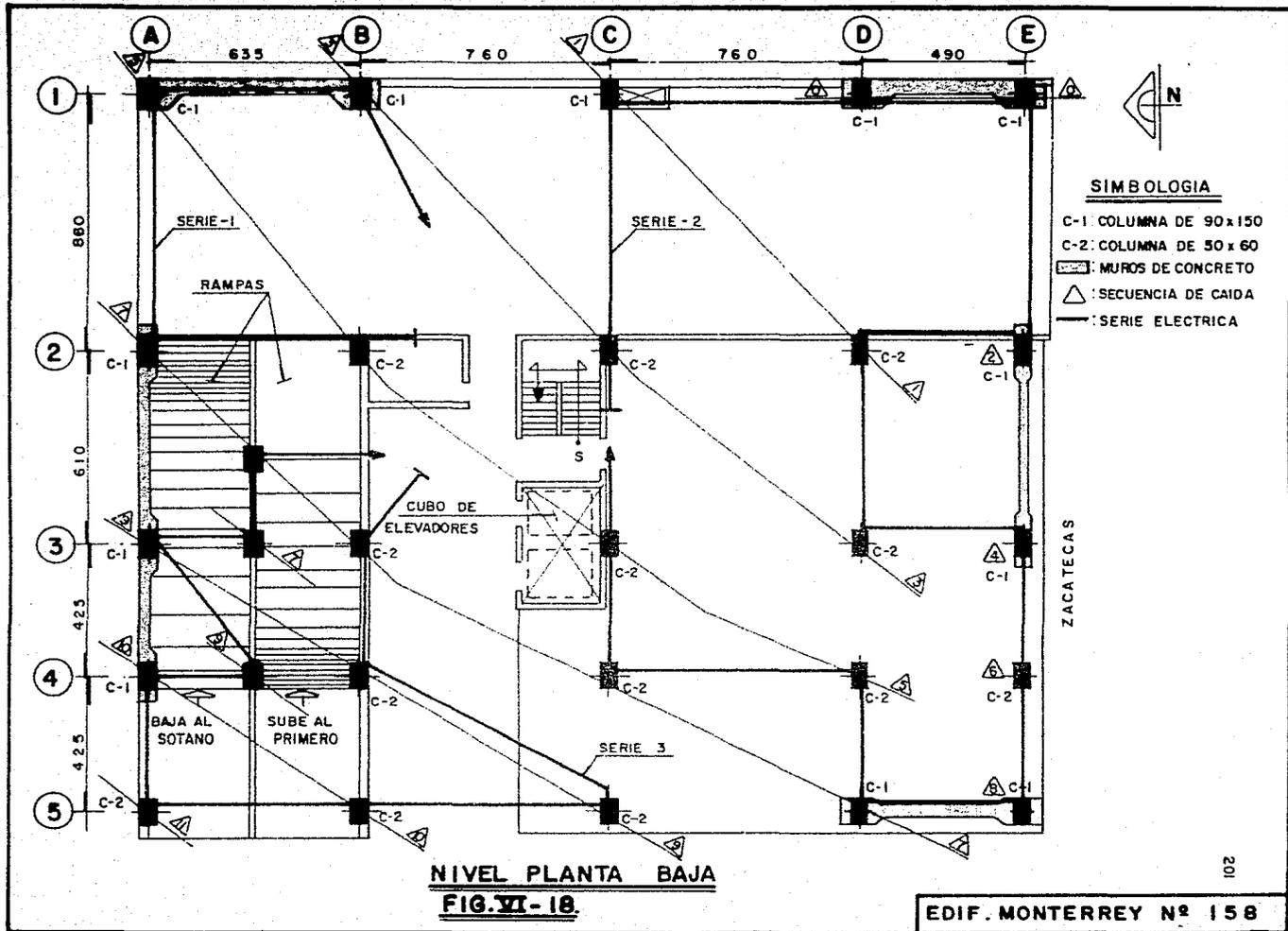
EDIFICIO: MONTERREY 158

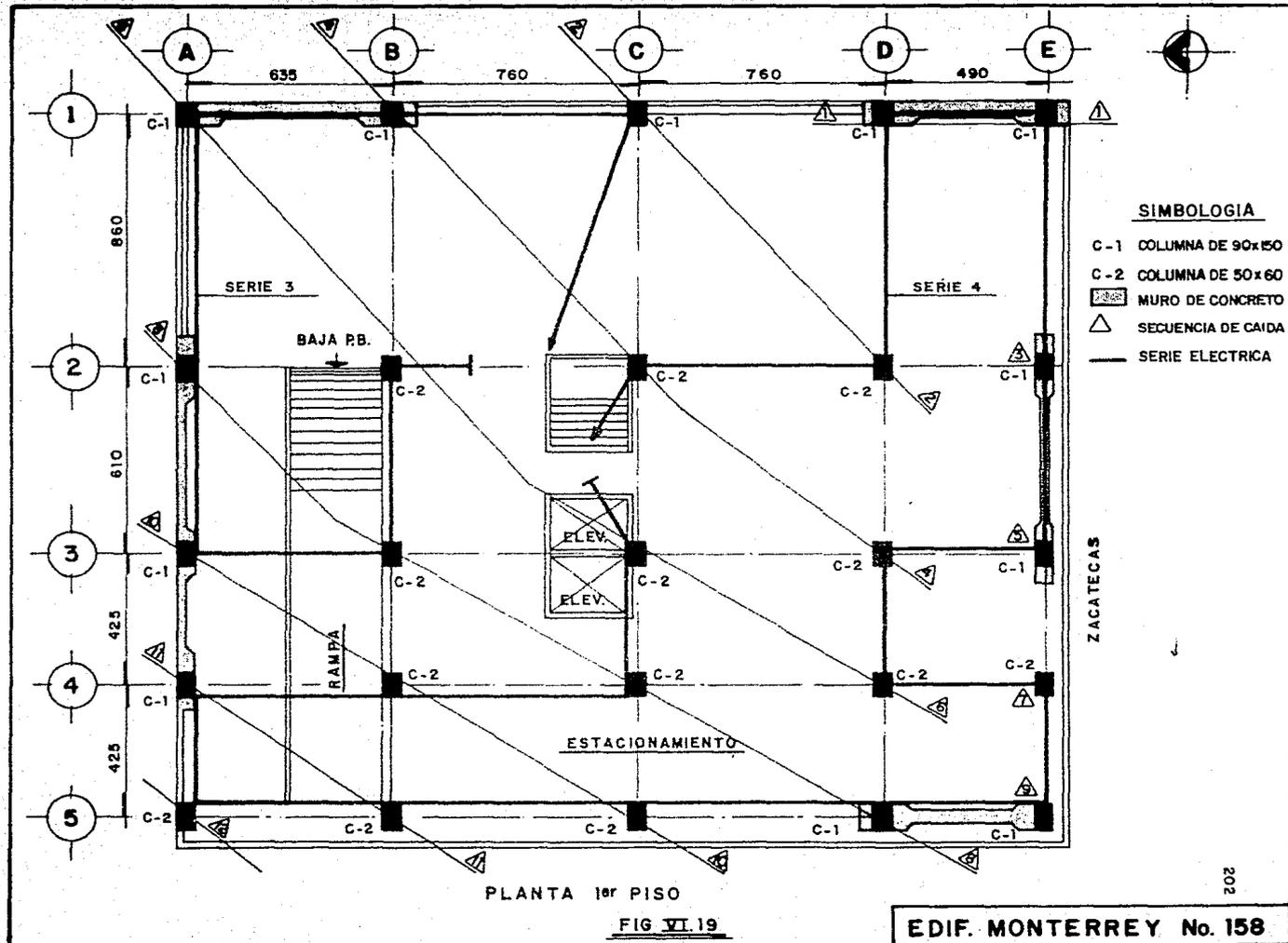


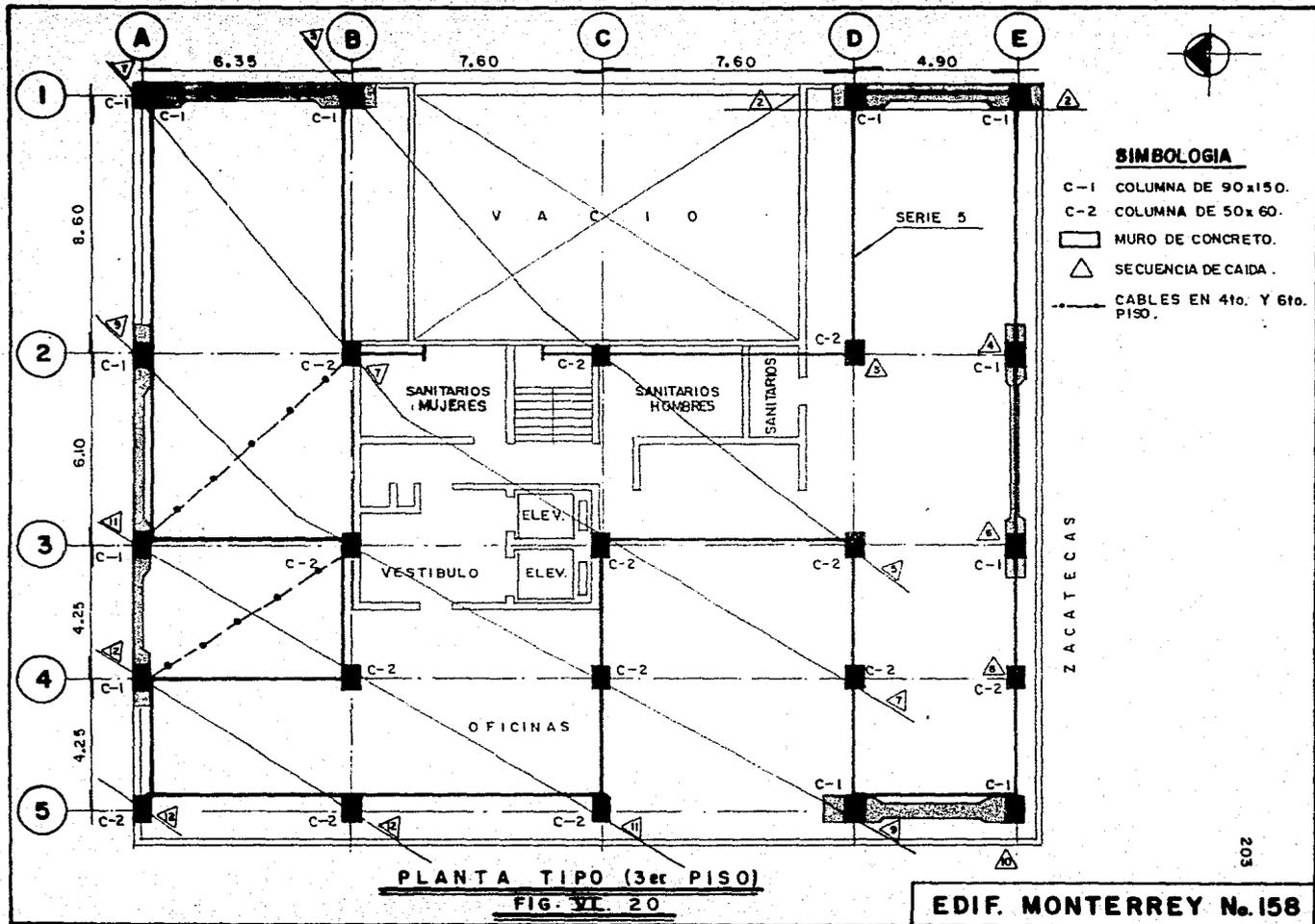
EDIFICIO MONTERREY (VISTA PONIENTE)  
FIG. VI-16.

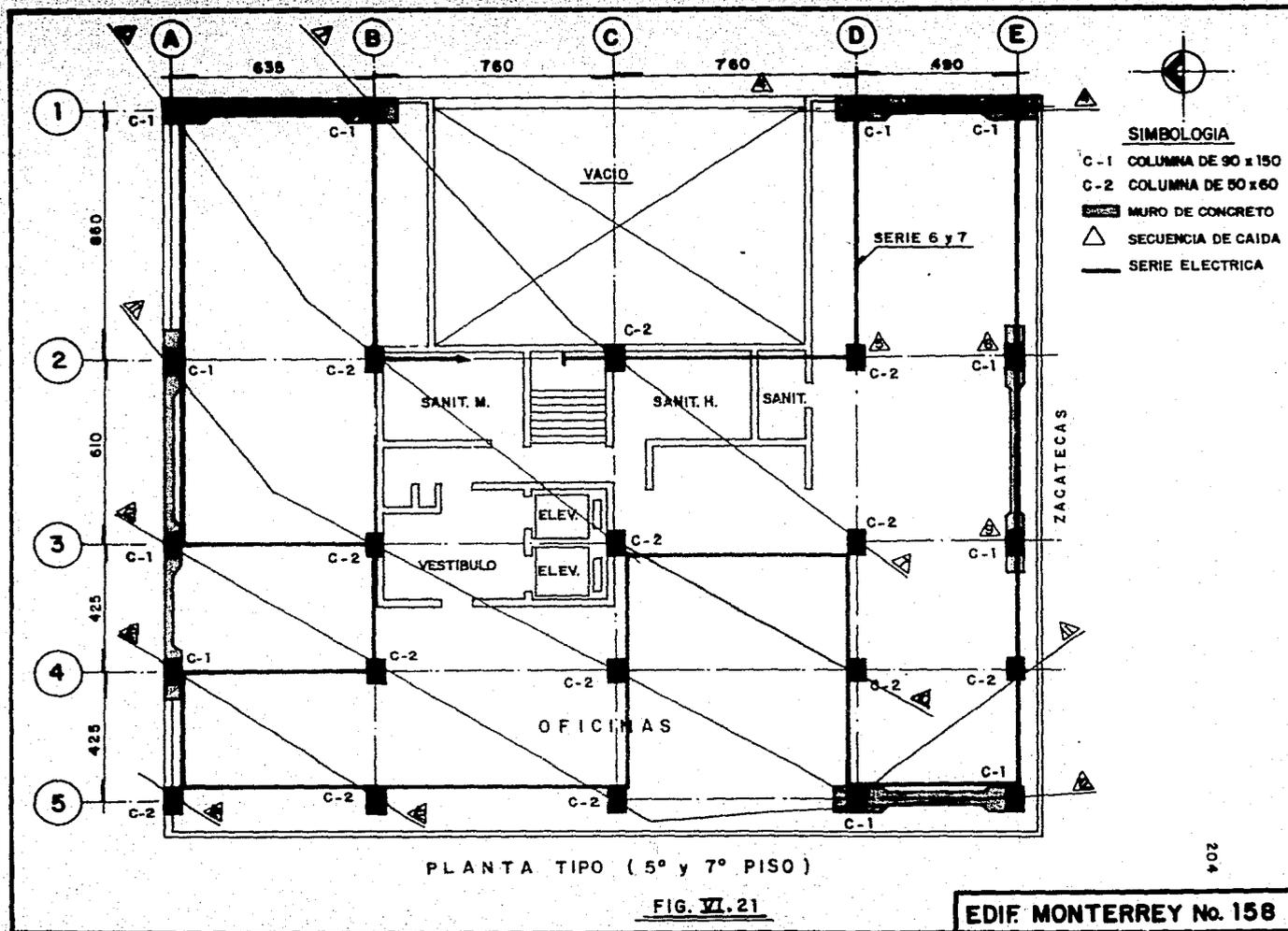
- ① BARRENOS
- ② BARRENOS
- ③ BARRENOS
- ④ BARRENOS











DEMOLICION EDIFICIO UBICADO EN MONTERREY No.158, ESQ. ZACATECAS

205

PROGRAMA DE TRABAJO

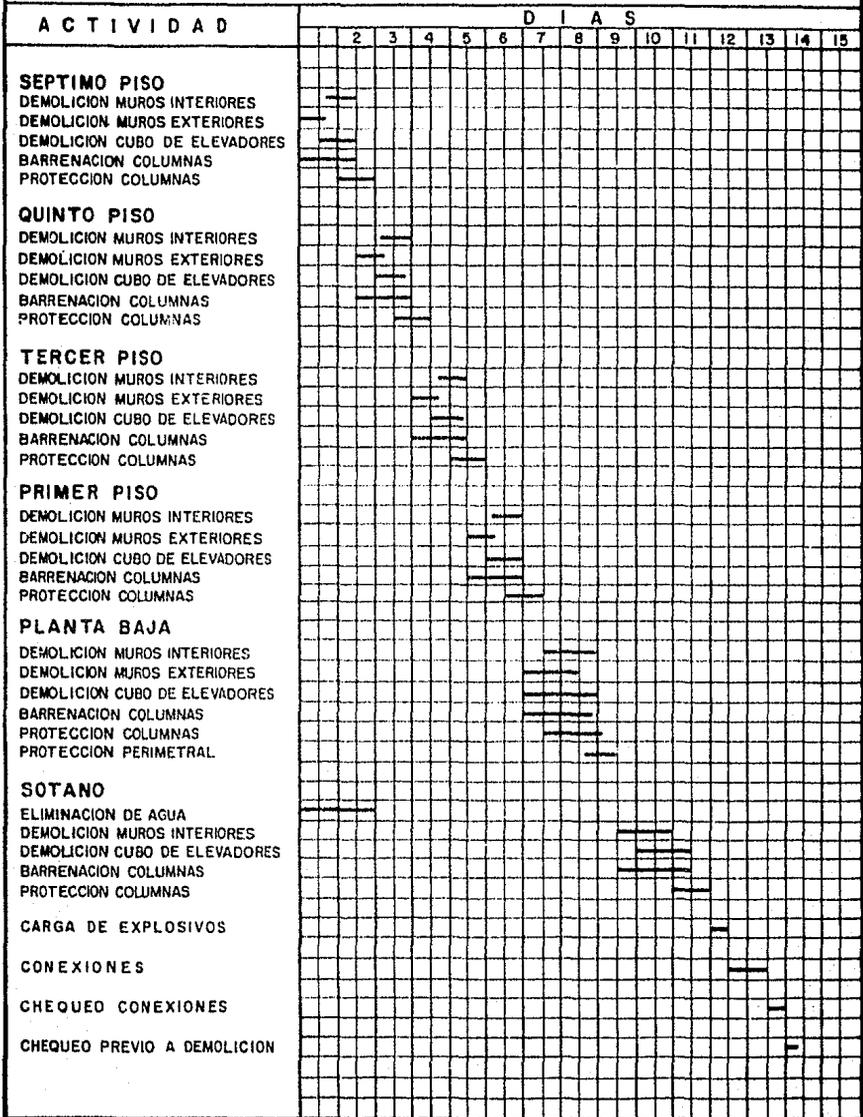


FIG.VI.22

En todas las construcciones de alrededor se colocaron protecciones en ventanas y puertas para evitar daños por efectos del golpe de aire y salida de proyectiles del material demolido. Dicha protección consistió en mantas y plantillas de lámina pintora. Para disminuir el golpe de aire se colocaron cajas de trailers vacías. (fig. VI.15).

Para la protección de las instalaciones subterráneas se hizo un colchón de tezonle fino y material de los terrenos baldíos colindantes con un espesor de 60 cm. (fig. VI. 15).

El área total del edificio demolido fue de 6560 m<sup>2</sup> con un peso de 5360 toneladas. El total de barrenaciones fue de 364 unidades y 4 cables de 3/4" de diámetro.

#### Manejo de retardos y dosificación.

Debido a que el edificio presentaba un desplome en dirección Oriente de 30.2 cm. y además se tenía una longitud libre de 20 metros en el terreno baldío colindante de ese mismo lado, se decidió realizar la demolición en dirección Suroriente. Todas las preparaciones que se presentaron con anterioridad se hicieron con el fin de cumplir con este objetivo primordial.

En la tabla VI.5, se anotan los retardos utilizados por columna en cada uno de los pisos cargados. Si se unen éstos con una línea imaginaria, nos enmarcan el "arco" secuencial de caída el cual se puede observar en la fig. VI. 17 a VI.21.

Con este sistema de retardo se intenta que el edificio caiga en la dirección planeada y que la fragmentación del mismo sea la adecuada. Con el trazo de las líneas imaginarias que unen columnas con igual tiempo de retardo se logran formar planos de falla que se crearán al eliminar simultáneamente los apoyos que están en dicha línea. Es importante hacer notar que las líneas quedan esviadas con respecto a los ejes de las columnas para lograr una buena fragmentación que es uno de los principales objetivos que se buscan con la demolición de edificios con explosivos.

Las columnas localizadas en el eje "E", sobre la calle de Zacatecas, se retra-

CS MANEJO	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A'-2	A'-3	A'-4	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
SOTANO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7	9	-	-	3	5	7	-	-	1	3	5	-	-	-	-	-	-
P.B.	5	7	9	10	11	7	7	9	3	5	7	9	10	1	3	5	7	9	0	1	3	5	7	0	2	4	6	8
1a.	6	8	10	11	12	-	-	-	4	6	8	10	11	2	4	6	8	10	1	2	4	6	8	1	3	5	7	9
3a.	7	9	11	12	12	-	-	-	5	7	9	11	12	-	5	7	9	11	2	3	5	7	9	2	4	6	8	10
5a.	10	11	12	12	12	-	-	-	7	10	11	12	12	-	7	10	11	12	4	5	7	10	11	4	6	9	11	12
7a.	10	11	12	12	12	-	-	-	7	10	11	12	12	-	7	10	11	12	4	5	7	10	11	4	6	9	11	12

TABLA VI.5 MANEJO DE RETARDOS(DSIGNACION)

CS MANEJO	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A'-2	A'-3	A'-4	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	TOTAL	
SOTANO	-	-	-	-	-	-	-	-	968	968	968	-	-	968	968	968	-	-	968	968	968	-	-	968	968	968	-	-	-	8712
P.B.	2420	2420	2420	2420	968	968	726	484	2420	968	968	968	968	2420	968	968	968	968	2420	968	968	968	968	2420	2420	2420	968	2420	42350	
1a.	1815	1815	1815	1815	726	-	-	-	1815	726	726	726	726	1815	726	726	726	726	1815	726	726	726	726	1815	1815	1815	726	1815	30129	
3a.	1210	1210	1210	1210	484	-	-	-	1210	484	484	484	484	-	484	484	484	484	1210	484	484	484	484	1210	1210	1210	484	1210	18876	
5a.	1210	1210	1210	1210	484	-	-	-	1210	484	484	484	484	-	484	484	484	484	1210	484	484	484	484	1210	1210	1210	484	1210	18876	
7a.	1210	1210	1210	1210	484	-	-	-	1210	484	484	484	484	-	484	484	484	484	1210	484	484	484	484	1210	1210	1210	484	1210	18876	
																137819	gra.													
																137.819	Kg.													

TABLA VI.6 DOSIFICACION(GRAMOS)

saron ligeramente en sus retardos con respecto a los planos de falla originales, esto fue con el fin de evitar lo más posible que el escombros invadiera -- completamente la calle de Zacatecas.

El total de retardos utilizados varió desde el número 0 al 12, lo que significa que fueron necesarios 6 segundos para lograr la detonación total de todas las columnas cargadas. Con estos retardos se condicionó la forma de caída del edificio; las características de éste y los espacios libres fueron las que fundamentalmente nos definieron el esquema de posición de éstos.

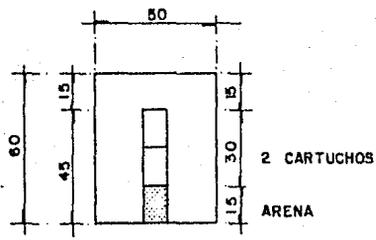
Considerando las columnas C-2 de 60 x 50 cms. que se barrenaron en el 75% de la longitud mayor (45 cm.) con un diámetro de 1 1/4", en dicho barreno, se pueden alojar 2 cartuchos de 1" de diámetro y 8" de largo que con el retaque ocuparían 30 cm. de longitud de la perforación, quedando 15 cm. para el taco final. Las columnas de 90 x 150 cms. se barrenaron con las mismas especificaciones ya citadas en el capítulo IV de tal forma que se podrán alojar 4 ó 5 cartuchos como se muestran en las secciones de columnas siguientes, definiéndose la cantidad del explosivo una vez realizada la prueba de carga en dos columnas y que fue de 5 cartuchos. De esta manera el explosivo quedó sensiblemente en el centro de gravedad de la columna. Se cebó el cartucho de fondo y el taco -- fué de arena confinada.

En la tabla VI.6. se anotan las cantidades de explosivos, en gramos, colocadas en cada una de las columnas cargadas. Como regla general en planta baja y primer nivel fué donde se colocó la mayor cantidad de explosivos. El total de éste utilizado en todo el edificio fue de 137.819 Kg., los cuales se distribuyeron de la siguiente forma: 8.712 Kg. (6.3%) en sótano, 42.350 Kg (30.73%) en planta baja, 30.129 Kg (21.86%) en primer nivel, 18.876 Kg (13.70%) en tercer nivel, 18.876 Kg (13.70%) en quinto nivel y 18.876 Kg (13.70%) en el séptimo nivel.

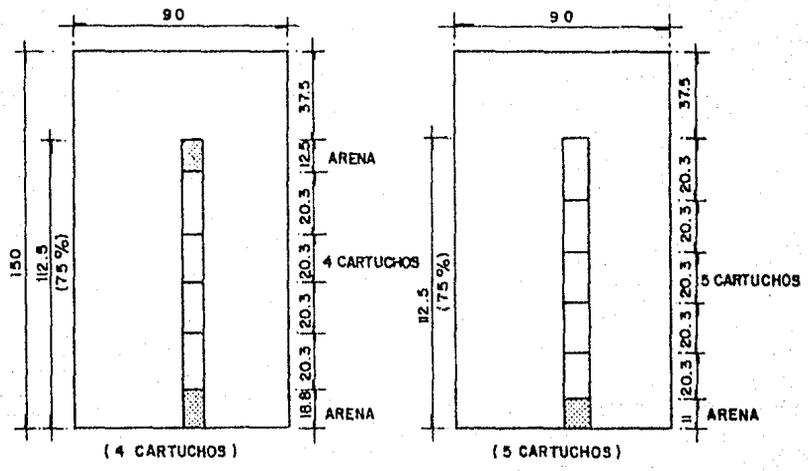
Cálculo del número de series.

La cantidad total de estopines utilizados fue de 364 pzas. En la tabla VI.7., se muestra la distribución de estos por nivel con su respectivo retardo,

Para las series se consideraron estopines de retardo Time Master Atlas, con --



SECCION COLUMNA C-2



SECCION COLUMNA C-1

RETARDO	SOTANO 4 BARRENOS	P.B. 4 BARRENOS	1ro 3 BARRENOS	3ro 2 BARRENOS	5to 2 BARRENOS	7mo 2 BARRENOS	TOTAL
0	—	8	—	—	—	—	8
1	4	8	6	—	—	—	18
2	—	4	6	4	—	—	14
3	8	12	3	2	—	—	25
4	—	4	9	2	4	4	23
5	12	16	3	6	2	2	41
6	—	4	12	2	2	2	22
7	8	23	3	8	6	6	54
8	—	4	12	2	—	—	18
9	4	14	3	8	2	2	33
10	—	8	9	2	8	8	35
11	—	4	6	6	10	10	36
12	—	—	3	6	14	14	37
TOTAL	36	109	75	48	48	48	364

TABLA VI. 7 DISTRIBUCION DE ESTOPINES

alambre de cobre de 16 pies. El explosor utilizado fue el CD-600 de Du pont - y 400 metros de alambre de cobre de calibre No. 14 como línea de encendido.

La selección del circuito eléctrico depende del número de estopines a ser disparados y el tipo de operación. En este caso las series fueron en paralelo y la detonación se planeó con máquina para voladura por ser la fuente de energía eléctrica más segura, confiable y económica. Las conexiones eléctricas se hicieron de manera ajustada, limpia y aisladas del suelo. Las líneas de guía se inspeccionaron y probaron con anterioridad a la detonación.

Para poder determinar el número de series en paralelo por utilizar, se procedió a realizar los siguientes cálculos :

- Resistencia de la línea de encendido con 400 mts.

$$400 \times \frac{8.40}{1000} = 3.37 \text{ ohms.} \quad (\text{ver tabla VI.10.}).$$

En los circuitos de series en paralelo, cada serie debe de ser balanceada eléctricamente dando cada lectura el mismo número de ohms. Generalmente un número igual de estopines en cada serie producirá series balanceadas. En un circuito de series en paralelo balanceadas, la resistencia de una serie dividida entre el número de series será igual a la resistencia total del circuito.

Los límites de disparo para la máquina explosora CD-600 se han determinado por la experiencia y el análisis por computadora para ayudar al usuario a diseñar el circuito eléctrico para voladuras, por lo cual estos límites se muestran en una gráfica del fabricante. Dicho esquema se basa en una resistencia de 2 ohms por estopín. Para obtener el número equivalente de estopines de 2-ohms, simplemente se multiplica el número de éstos en la voladura por la resistencia individual de los estopines que se están usando, después se divide entre 2 ohms, para obtener el número equivalente de estopines.

Para nuestro caso :

$$\text{Número Equivalente} = \frac{364 \times 1.90 \text{ ohm/pieza}}{2} = 346 \text{ estopines.}$$

De la tabla de capacidad del explosor CD - 600 se tiene que para una -----

resistencia de línea de encendido de 4 ohms. y 364 estopines se pueden hacer desde 4 a 20 series.

Se decidió distribuir 7 series en paralelo con un máximo de 58 estopines por serie que se muestran en la Tabla VI.8.

SERIE	SOTANO	P. B.	1er NIVEL	3er NIVEL	5to NIVEL	7mo NIVEL	ESTOPINES POR SERIE
1	36	16	—	—	—	—	52
2		56	—	—	—	—	56
3		37	21				58
4			54				54
5				48			48
6					48		48
7						48	48
Σ	36	109	75	48	48	48	364

**TABLA VI.8 DISTRIBUCION DE LAS SERIES POR PISO**

Análisis para uso de resistencia:

Serie mayor = 58 estopines.

Serie menor = 48 estopines.

Diferencia = 10 estopines.

% diferencia =  $\frac{10}{48} = 20.8\%$

Se concluye que deben compensarse las series debido a que rebasa la máxima diferencia aceptable y que es del 10%. Para balancear las series se utilizan resistencias de cerámica que se unen a la serie en cuestión para aumentar ésta, lo cual se hace en el edificio por demoler.

En la tabla VI.9 se presenta el balanceo de las series utilizadas en el edificio de Monterrey No. 158. Se consideraron estopines Atlas EB. Timmaster de 1.9 ohms. de resistencia. El balanceo definitivo de las series se llevo a cabo en el edificio de acuerdo a la medición directa y mediante la adición de resistencias de cerámica.

En las figuras VI.17 a VI.21 se muestran las siete series utilizadas en donde se observa su respectiva conexión.

Por lo tanto ya con el circuito de series en paralelo balanceadas, la resistencia de una serie dividida entre el número de estas será igual a la resistencia total del circuito, entonces tendremos:

$$R = \frac{\text{Resistencia/serie}}{\text{No. de series}}$$

$$R_1 = \frac{58 \times 1.9}{1} = 110.20 \text{ ohms.}$$

$$R_2 = \frac{110.20}{2} = 55.10 \text{ ohms.}$$

$$R_3 = \frac{110.20}{3} = 36.73 \text{ ohms.}$$

$$R_4 = \frac{110.20}{4} = 27.55 \text{ ohms.}$$

$$R_5 = \frac{110.2}{5} = 22.04 \text{ ohms.}$$

$$R_6 = \frac{110.2}{6} = 18.37 \text{ ohms.}$$

$$R_7 = \frac{110.2}{7} = 15.74 \text{ ohms.}$$

La resistencia de la línea de encendido es :

Alambre de calibre 14 con 215 m. de largo

$$L = 215 \times 2 = 430 \text{ m.}$$

$$R = 430 \times \frac{8.4}{1000} = 3.61 \text{ ohms.}$$

SERIE	Nº DE ESTOPINES	RESISTENCIA ESTOPINES	RESISTENCIA CABLEADO	RESISTENCIA DE LA SERIE	RESISTENCIA FALTANTE
1	5 2	98.8	1.70	100.50	11.40
2	5 6	106.4	0.0	106.40	5.50
3	5 8	110.2	1.70	111.90	0.00
4	5 4	102.6	1.70	104.30	7.60
5	4 8	91.2	5.00	96.20	15.70
6	4 8	91.2	8.40	99.60	12.30
7	4 8	91.2	11.60	102.80	9.10

TABLA VI.9 BALANCEO DE SERIES  
( OHMS )

CALIBRE AWG	OHMS x 1000 METROS
12	5.32
14	8.40
16	13.40
18	21.40
20	34.00

TABLA VI.10 RESISTENCIA\* DEL  
ALAMBRE DE COBRE

\* a 20° c (68° f)

Por lo tanto la resistencia total del circuito será:

$$R_{\text{total}} = \text{Resistencia del Circuito de estopines} + \text{Resistencia de la línea de encendido.}$$

$$R_{\text{tot.}} = 15.74 + 3.61 = 19.35 \text{ ohms.}$$

Es evidente que las lecturas del multímetro disminuyen al agregarse cada serie y por lo tanto antes de conectar la línea de encendido a la máquina explosora se debe de revisar que dicha lectura coincida con la calculada para poder realizar la detonación.

Determinando el voltaje requerido usando la Ley de Ohm:

$$V = I \times R.$$

donde :

$$V = \text{Voltaje aplicado en volts.}$$

$$I = \text{Corriente en amperes.}$$

$$R = \text{Resistencia en ohms.}$$

$$V = 1.5 \times 19.35 = 29.025 \text{ volts.}$$

La potencia teórica requerida es:

$$P = I^2 \times R.$$

donde :

$$P = \text{Potencia en watts.}$$

$$I = \text{Corriente en amperes.}$$

$$R = \text{resistencia en ohms.}$$

$$P = (1.5)^2 \times 19.35 = 43.54 \text{ watts,}$$

La intensidad de 1.5 amperes es la mínima necesaria para disparar estopines -- eléctricos en detonaciones con disparo eléctrico.

#### Demolición y resultados.

Como ya se mencionó, antes de realizar cualquier demolición con explosivos se conforma el plan operativo en el cual se delimita el área de acordonamiento y que se observa en la fig. VI.23. La demolición del edificio de Monterrey No. 158 se llevo a cabo el sábado 10 de Mayo de 1986 a las 12:15 hrs. en punto.

Como es común, antes de apretar el botón detonador de la máquina explosora --- CD-600 se realizó la revisión de las resistencias de cada serie con respecto a las calculadas con un multímetro, las cuales variaron por muy pocas décimas de ohm., por lo que su diferencia se consideró bastante aceptable.

Después de realizar una estricta revisión de todos y cada uno de los aspectos que se marcan en el plan operativo de la demolición, previamente definido, se procedió a la detonación.

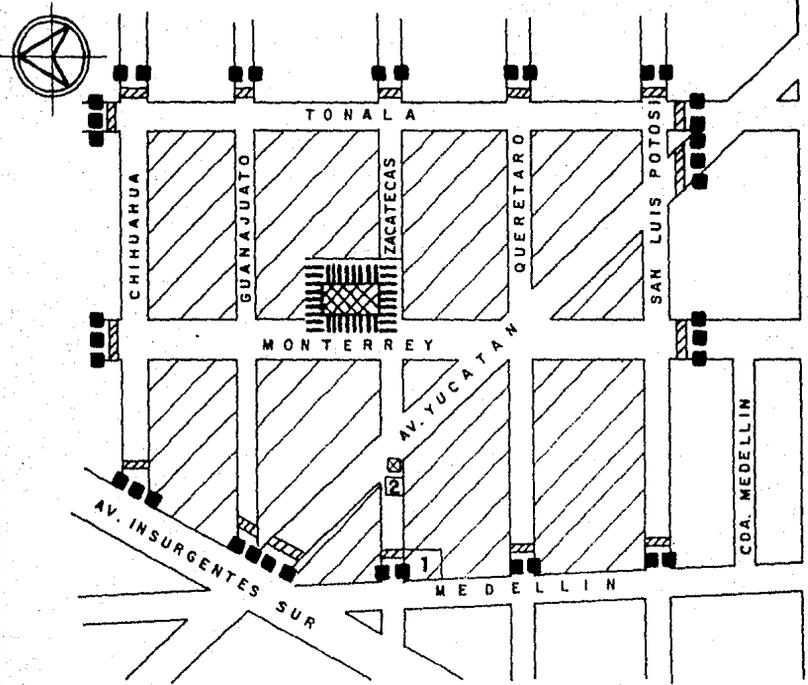
Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, ya que la caída del escombro no invadió la calle de Zacatecas y fue en dirección Oriente, no exactamente a lo planeado, pero no hubo problemas graves en colindancias con excepción de una barda perimetral que se derrumbó en una casa habitación del lado -- Oriente.

La fragmentación del edificio fue buena, ya que solamente quedaron muros perimetrales del lado Poniente semienteros, lo cual ya se había previsto.

No se dañaron ningún tipo de instalaciones subterráneas, por lo que el colchón de protección previamente colocado cumplió con su cometido.

Nuevamente el sistema de retardos en forma de "arco" funcionó adecuadamente dando como resultado una caída acorde con lo planeado.

Las protecciones en general cumplieron con su objetivo, ya que no hubo proble-



**SIMBOLOGIA:**

- ■ ■ CORDON DE SEGURIDAD PARA EL EDIF. MONTERREY N° 158 .
- ||||| CORDON DE SEGURIDAD PART.
- ▨ COLOCACION DE PERSONAL QUE NO PARTICIPA EN LAS ACTIVIDADES DE PUESTO DE MANDO.
- ▧ ZONA DE DESALOJO VECINAL .
- 1 ZONA DE OBSERVACION PERIODISTAS
- 2 ZONA DE OBSERVACION INVITADOS.
- ⊗ PUESTO DE MANDO.

**FIG. VI . 23**

**MONTERREY N° 158**

mas de rotura de cristales de ventanas y puertas ni salida de proyectiles que pudieran poner en peligro la seguridad pública.

Se puede concluir con base en la evaluación de la demolición, que el esquema de preparaciones generales y el manejo de retardos, dio resultados bastante satisfactorios de acuerdo a lo planeado.

## VI.4. PROGRAMA OPERATIVO.

Como ya se ha señalado con anterioridad es indispensable que durante la preparación de los edificios y en su demolición se tomen estrictas medidas de seguridad, por lo cual para lograr ésto con la mayor eficacia posible se elabora un plan operativo en el que se definen las actividades generales a realizar desde varios días antes de la demolición. A continuación se transcribe el -- programa operativo para la ejecución de la demolición del edificio localizado en la calle de Durango No. 138 a manera de ejemplo, del cual se descri-- bieron sus preparaciones y resultados en el subcapítulo anterior.

En todos y cada uno de los edificios demolidos con explosivos realizados en la Cd. de México, se elaboró su respectivo plan operativo como el aquí presentado.

PROGRAMA OPERATIVO PARA LA EJECUCION DE LA DEMOLICION DEL EDIFICIO DE OFICINAS EN LA CALLE DE DURANGO No. 138.

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
10/Diciembre/1985	08:00	<p>Reunión en la Sala de Juntas de la Vocalía Ejecutiva de COVITUR.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Análisis del acordonamiento regional.</li> <li>2.- Análisis del acordonamiento local.</li> <li>3.- Revisión del plan de protección de instalaciones aéreas e inducidas -- dentro del área del operativo.</li> <li>4.- Revisión.</li> <li>5.- Determinación de los responsables -- para el manejo de:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a).- Explosivos y Estopines.</li> <li>b).- Manejo de cuadrilla de apoyo -- para efectuar la carga del <u>edif</u>icio.</li> </ol> </li> </ol>

FECHA

HORA

ACTIVIDADES PREVIAS

- c).- Seguridad cordón local y seguridad del operativo.
  - d).- Manejo de Periodistas.
  - e).- Manejo de invitados.
  - f).- Levantamiento fotográfico notarial de las edificaciones alledañas (alrededor y enfrente del edificio).
  - g).- Peritajes de las edificaciones alledañas.
  - h).- Registro en la delegación del levantamiento notarial (fecha de registro).
- 6.- Checar el aprovisionamiento de :
- a).- Materiales Explosivos (Tovex, estopines, etc.).
    - 1) Permiso de transporte.
    - 2) Fecha de llegada al edificio Sábado 14 de Diciembre a las 8:00 hrs. Durango 138, entre Tonalá y Jalapa.
  - b).- Alambre calibre 14, 20 etc. (más de 400 mts. de cada uno).
  - c).- Pinzas para cortar cable, navajas e instrumental especial suficiente.
  - d).- Lámparas de Gas Butano (cargadas y con refacciones suficientes).
  - e).- Radios de intercomunicación --- (cargados), Puesto de control técnico, control de mando y sismógrafos.

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
		<ul style="list-style-type: none"> <li>f).- Sismógrafos (Baterías cargadas)</li> <li>g).- Explosor.</li> <li>h).- Elementos de apoyo.</li> <li>i).- Material para el dispositivo de acordonamiento (inicia 8:00 hrs Domingo 15 de Diciembre de ---- acuerdo a croquis anexo.               <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Existencia.</li> <li>2) Traslado.</li> <li>3) Manejo y resguardo.</li> </ul> </li> <li>j).- Trailers cajas transferencia. (Hora de llegada 9:30 hrs. Domingo 15 de Diciembre). No. disponible de acuerdo al <u>ho</u>rario disponible.</li> <li>k).- Programa de retiro de escombros y reciclaje del escombros, uso posterior del suelo.</li> </ul>
10 Diciembre	11:00	Reunión técnica para determinar trabajos de protección del taller ubicado entre Durango y Tonalá.
	18:00	Reunión para la revisión de las novedades en los trabajos efectuados en el día, planteamiento de las actividades subsiguientes del programa y chequeo de suministros.
12 Diciembre	10:00	Revisión de localización de fotografías técnicas y fotografías de Prensa en las áreas del operativo previo: a).- Visita de la Dirección de Relaciones

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
		Públicas del D.D.F. determinando -- listas y No. de lugares para puesto de observación.
		b).- Autorización de los propietarios -- por medio de la Dirección General - de Servicios Urbanos.
	12:00	Revisión física cordones regionales de - seguridad (distancias).
	18:00	Reunión para la revisión del avance del programa efectuado en el día, plantea-- miento de las actividades subsecuentes y chequeo de suministros y personal para - actividades subsecuentes.
	18:30	Chequeo del suministro de material y la existencia de personal necesario para la protección de fachadas.
		PROGRAMA EJECUTIVO DE LA DEMOLICION
14 Diciembre (Sábado)	07:00	Se establece dispositivo local de <u>seguri</u> dad entorno del camión que transporta -- los explosivos, determinando operativo - de vigilancia en el edificio.
	08:00	Llegada del vehículo con los explosivos a la zona determinada (estacionamiento - ubicado entre las calles Tonalá y Duran- go).
	08:30	Se inician los trabajos de carga de ex- plosivos (secuencias, circuitos, sello,- etc.).

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
	09:00	Se continúa con los trabajos de protección a las edificaciones y fachadas de acuerdo con el plan establecido.
	12:00	Traslado y presentación de barreras metálicas y señalamiento zona del operativo.
	16:00	Chequeo de la iluminación en la zona del operativo.
	18:00	Chequeo de la protección de seguridad -- del edificio y del entorno.
	19:00	Instalación de cargas explosivas, (secuencias, circuitos, sellos, etc). complementarias.
	19:30	Reunión para la revisión de los detalles faltantes a ejecutar el día siguiente, para determinar el personal necesario y el suministro de equipo y material para su complementación.
	20:00	Se dan instrucciones al cordón de seguridad para continuar durante la noche. --- Reunión fotógrafos CONACINE y COVITUR -- con C.D.I. para determinar puestos de observación.
15 (Domingo)	08:00	Se establece cordón regional en el perímetro. Se establece acordonamiento regional con barreras, cordón y señalamiento, dejando

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
		como puerta de entrada y salida a la zona del acordonamiento la esquina de Av.- Insurgentes Sur y Durango.
	08:30	Reunión general en el puesto de mando ubicado en la esquina de Av. Insurgentes Sur y Durango. 1.- Sincronización de relojes. 2.- Informe de Novedades.
	09:30	Se inicia la evacuación de vecinos en el área del operativo.
	10:00	Llegada de los equipos de transferencia y de hidroaspersores, e inicio de maniobras de colocación en los <u>lugares designados</u> .
	10:20	Salida operadores equipos de transferencia <u>fuera de la zona del operativo</u> .
	10:30	Entrada de invitados a puestos de observación determinados.
	10:45	Se inicia verificación de la evacuación por personal de la D.G. S.U.
	11:00	Informe final de la evacuación e informe de novedades, en el puesto de mando.

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
	11:10	Sale el personal de trabajo social de la D.G.S.U. fuera de la zona del operativo.
	11:15	Se suspende la entrada de invitados y -- personal a el área de operación quedando solamente el personal del puesto de mando, personal manejo explosivos, personal del puesto de control técnico y personal que maneja a los sismógrafos más 5 auxiliares de seguridad (20 personas).
	11:25	Ubicación de personal de los equipos de seguridad y apoyo en su sitio.
	11:30	Colocación del personal de puesto de control técnico en su sitio. <u>Entrada de Periodistas a sus puestos --- asignados.</u> Chequeo de la colocación del personal del operativo en la línea de partida señalada, solamente queda afuera el personal - del puesto de mando, personal sismógrafos más 5 auxiliares de seguridad. Colocación de sismógrafos.
	11:35	Tender línea alámbrica hasta el puesto - de mando, conduciendo el explosor.
	11:40	Nuevo chequeo visual desde el puesto de control y técnico utilizando la red de - radio, enterando a puesto de mando.
	11:45	Ubicación junto a los sismógrafos del -- personal que los activará.

FECHA	HORA	ACTIVIDADES PREVIAS
	11:58	<u>Señales</u> , 2 minutos antes del disparo en el explosor. - 2 sonidos de sirena de 3 segundos cada uno.
	11:59	Señal, 1 minuto antes. - 1 sonido de sirena largo de 3 segundos Quedan conectados los sismógrafos (señal por radio al puesto de mando, de que el personal que los activó quedó a cubierto.
	11:59:45	Señal 3 sonidos de sirena cortos antes de la cuenta regresiva.
	11:59:50	Cuenta Regresiva.
	12:00	DETONACION
	12:05	Entran las pipas con agua e inician su trabajo. Revisión del estado físico de las edificaciones, aleñadas y de los resultados obtenidos.
	12:15	Se establece nuevamente el cordón de seguridad alrededor del edificio y se inicia la limpieza de escombros.

## CONCLUSIONES

Los explosivos proporcionan una fuente de energía concentrada que puede utilizarse en muchas formas ingeniosas. La demolición de edificios con explosivos es un tipo de uso especial, debido a que se realiza en áreas congestionadas - por lo que involucra riesgos no encontrados en el uso normal de los explosivos. Dicho trabajo demanda técnicos y habilidades especiales, pero actualmente puede llevarse a cabo con las experiencias obtenidas de las demoliciones - hasta hoy realizadas en la Cd. de México y aún mejorarse.

Uno de los factores que más influyen en la demolición de edificios con explosivos es la cercanía o lejanía de las construcciones colindantes, lo cual nos da la pauta para realizar el plan de caída con las respectivas preparaciones necesarias en el mismo edificio por demoler y en sus colindancias, sí es necesario; por lo tanto nos define el costo total de la demolición siendo substancialmente diferente, en un edificio sin problemas de colindancias que en otro que sí las tenga.

Esta técnica de demolición es competitiva con respecto a los métodos tradicionales en edificios de 6 niveles o más, ya que realizando una comparación mediante un análisis económico resulta más barata y rápida que las técnicas convencionales. Además es aplicable no solamente para edificios dañados, sino - también para aquellos que por alguna circunstancia sea necesario demoler.

La demolición con explosivos puede utilizarse tanto en edificios de concreto como de acero, la técnica es la misma, la única diferencia estriba en el tipo de explosivo a utilizar, siendo de tipo plástico en las estructuras de concreto y lineal en las de acero.

En México se tiene amplia experiencia en el uso de explosivos, por lo cual es vital que dicha experiencia sea aplicada o difundida para mejorar el método -

de demolición con explosivos en edificios, ya que la mayoría de las demoliciones efectuadas las realizaron técnicos norteamericanos, y creemos que es posible conjuntar un grupo que puede efectuar esta labor con suficiente eficiencia. La técnica de aplicación de los explosivos y accesorios debe de seguir adelante y tomar lo mejor que este campo ofrece hasta conformar nuestra propia tecnología en la demolición de edificios en zonas urbanas.

Debido a las ventajas que ofrece el procedimiento de demolición con explosivos, es obligado considerarlo como alternativa en un edificio que se pretenda demoler. Una de estas ventajas del método es la rapidez con que se puede llevar a cabo la demolición y además en edificios con daños estructurales peligrosos implica un menor riesgo.

Un aspecto muy importante que siempre se debe de considerar es la calidad de las preparaciones que se realizan dentro del plan operativo de demolición, ya que de estas depende, en gran parte, el obtener resultados óptimos. Por lo tanto es conveniente utilizar personal calificado en las rompedoras, perforadoras y en la cuadrilla de cortadores. En el manejo de explosivos, invariablemente deberá participar únicamente personal altamente calificado y con experiencia en el manejo de los mismos.

Como una demolición cae dentro del campo de la Ingeniería Civil, éstas deben de tener una organización semejante a una construcción, por lo cual, se deben de conformar las áreas de planeación, supervisión, control de calidad, etc., -teniendo que participar en forma especial el ingeniero estructurista.

Las medidas de seguridad es otro de los factores que nunca hay que olvidar; -ya que el manejar explosivos y debilitar la estructura del edificio por demoler se originan riesgos, los cuales siempre debe buscarse que se reduzcan al más mínimo posible.

Se tienen que tomar en cuenta la existencia de recursos, en especial los humanos, ya que durante el sistema operativo se requieren de bastante personal para la seguridad del mismo.

Después de cada demolición efectuada es muy importante realizar una evalua---

ción para determinar si los análisis y razonamientos que condujeron a los esquemas de retardos, al cableado y demoliciones parciales, dan resultados semejantes a los esperados, con lo que se podrá mejorar la técnica de demolición a aplicar en edificios posteriores.

Las condiciones anteriores constituyen una parte de las que deben de tomarse en cuenta en un trabajo como este. Lo importante no es determinar un número preciso de ellas, sino que siempre debe de buscarse lograr un trabajo eficiente y organizado, situación que a la postre tendrá como resultado la culminación de una adecuada demolición cumpliendo con los requisitos ingenieriles de funcionalidad, economía y seguridad.

Todos los conceptos técnicos expuestos en este trabajo son generales; por lo cual cada edificio por demoler es un caso particular, el cual habrá que analizar con el debido cuidado para poder dictaminar las actividades más importantes que se deben llevar a cabo, las preparaciones a realizar, dónde, cómo, -- cuánto y cuáles explosivos colocar, las medidas de seguridad que se han de tomar, etc.; y por lo tanto sólo da una idea o guía del tema tratado y no deberá ser tomado como instructivo o manual.

La demolición de edificios con explosivos contribuye y contribuirá en diferentes ramas de la ciencia, en especial a la Ingeniería Civil, ya que se pueden estudiar físicamente en la estructura a demoler mecanismos de falla, su comportamiento cuando se detonan previamente elementos resistentes localmente para calibrar la dosificación de explosivos solicitación que inclusive se ha -- mencionado que se incluya en reglamentos de construcción (diseño de la estructura con la supuesta falla de alguno de sus elementos estructurales), el estudio de estructuras cercanas a la que se va a demoler ya que éstas se pueden instrumentar durante el sismo provocado por el colapso del edificio a demoler, pudiéndose obtener propiedades dinámicas como modos de vibrar reales y compararlos con teóricos, etc.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Apuntes de Movimiento de Tierras Tomo II.  
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.  
División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica.
- 2.- Meli R., "Diseño Estructural", Ed. Limusa, México, D.F. 1985.
- 3.- Dowrick D.J., "Diseño de estructuras resistentes a sismos para Ingenieros y Arquitectos", Ed. Limusa, México, D.F. 1984.
- 4.- Vázquez V.A., Pérez R.R., "Comportamiento de las Estructuras en la Cd. de México"; Memorias del Simposio de Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo, Gro. Noviembre de 1986.
- 5.- Borja N.G., Díaz C.M., Vázquez V.A., Del Valle C.E., "Estadísticas de los daños causados por el sismo del 19 de Septiembre de 1985 en la Cd. de México", Memorias del IV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Ver. Abril de 1986.
- 6.- Bazan E., Meli R., "Manual de diseño sísmico de edificios de acuerdo con el reglamento de construcciones para el Distrito Federal", Series del I.I. U.N.A.M., D-18, Septiembre de 1983.
- 7.- Portland Cement Association, "Interacción Estructural en Marcos y Muros de Cortante", Ed. Limusa, 1977.
- 8.- Bruce A. Bolt, "Terremotos", serie Reverté Ciencia y Sociedad. Ed. Reverté S.A., Barcelona España, 1981.
- 9.- Dupont, "Manual para el uso de explosivos", Departamento de Explosivos. de Du Pont, S.A.. de C.V., México, D.F. 1983.
- 10.- Compañía Mexicana de Mechas, "El Cordón detonante Primacord" Dinamita Dgo. México, 1979.

- 11.- Facultad de Ingeniería U.N.A.M., "Breve descripción del Equipo usual en construcción", sección de Construcción, 1981.
- 12.- S.A.H.O.P., "Costos y Procedimientos de Construcción en las vías terrestres", México, D.F. 1978.
- 13.- Salinas V. R., "Demolición de Estructuras", Memorias del Simposio Ingeniería Sísmica, Ixtapa Zihuatanejo, Gro. Noviembre 1986.
- 14.- Salinas V.R., Baker D.E., "Demolición con explosivos", Revista IMCYC No. 184 Vol. 24, Septiembre 1986.  
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.
- 15.- IMCYC, Revista No. 176, Vol. 23, /Diciembre-Enero/1986.  
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- 16.- CONACYT, Revista "Información Científica y Tecnológica" Noviembre de 1985, Vol. 7, No. 110.
- 17.- C.N.I.C., "Revista Mexicana de la Construcción", Diciembre de 1985, No. 374 México, D.F..