

PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS
PORTICADAS EN CONCRETO CON UTILIZACIÓN DE EXPLOSIVOS

TRABAJO DE GRADO

CAMILO EDUARDO QUINTERO A.
ALEXANDER SILVA MORA.

UNIVERSIDAD MILITAR “NUEVA GRANADA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, ABRIL DE 2003

PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS
PORTICADAS EN CONCRETO CON UTILIZACIÓN DE EXPLOSIVOS

CAMILO EDUARDO QUINTERO A.
ALEXANDER SILVA MORA.

Trabajo de Grado presentado como requisito
parcial para optar al título de Ingeniero Civil
Director: Señor CT. (r) Ing. EDGAR ANTONIO CAÑAS LANDAZABAL

UNIVERSIDAD MILITAR “NUEVA GRANADA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ, ABRIL DE 2003

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

BRIGADIER GENERAL (r) ING. ADOLFO CLAVIJO ARDILA
Rector

MAYOR GENERAL (r) JAIME HUMBERTO CORTEZ PARADA
Vicerrector General

DOCTOR MAURICIO GONZÁLEZ MEDINA
Vicerrector Académico

CORONEL (r) WLADISLAO REINOSO MARIN
Director Administrativo

CORONEL (r) AUGUSTO BAHAMON DUSSAN
Decano de la Facultad

APROBACIÓN

El trabajo de grado titulado “PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS PORTICADAS EN CONCRETO CON UTILIZACIÓN DE EXPLOSIVOS”, presentado por Camilo Eduardo Quintero Avellaneda y Alexander Silva Mora en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil”, fue aprobado por el Director.

Ing. EDGAR CAÑAS LANDAZABAL
Director

Ing. Giovanni González
Jurado

Lic. ALICIA TORRES MUÑOZ
Metodóloga Asesora

Ing. Fernando Castiblanco
Jurado

Bogotá, Abril de 2003

A Dios,
A mi Familia,
A la Universidad y
A mis Amigos.

Camilo

A Dios,
A mi Familia y
A la Universidad.

Alex

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

- Al Ingeniero EDGAR ANTONIO CAÑAS LANDAZABAL, Profesor de la Universidad Militar “Nueva Granada”, especialista en explosivos y Director del trabajo.
- Al Ingeniero GIOVANNY GONZÁLEZ, Director del área de estructuras de la Universidad Militar “Nueva Granada”.
- Al Ingeniero FERNANDO CASTIBLANCO, Profesor titular de la Universidad Militar “Nueva Granada”
- A La Doctora ALICIA TORRES MUÑOZ, Profesora titular de la Universidad Militar “Nueva Granada”.
- A Las Directivas de la Universidad Militar “Nueva Granada”.
- A Todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

Advertencia

La universidad Militar “Nueva Granada” No se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados por los autores en sus respectivos trabajos de grado; sólo vela porque no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no contenga ataques personales y únicamente se vea en él el anhelo de buscar la verdad científica.

(Artículo 60 “de la responsabilidad sobre los trabajos de grado”. Reglamento Estudiantil)

CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	17
1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	21
1.1 HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS.....	22
1.1.1 Reseña histórica sobre demoliciones con explosivos.....	26
1.2 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.....	30
1.2.1 Potencia.....	30
1.2.2 Velocidad de detonación.....	31
1.2.3 Densidad.....	31
1.2.4 Presión de detonación.....	32
1.2.5 Resistencia al agua.....	32
1.2.6 Resistencia a la congelación.....	33
1.2.7 Sensitividad.....	33
1.2.8 Sensibilidad.....	34
1.2.9 Estabilidad.....	35
1.2.10 Diámetro crítico.....	35
1.2.11 Transmisión de la detonación.....	35
1.2.12 Emanaciones.....	36
1.2.13 Inflamabilidad.....	36
1.3 TIPOS DE EXPLOSIVOS UTILIZADOS EN DEMOLICIONES.....	37
1.3.1 Indugel Plus AP.....	37
1.3.2 Accesorios de voladura.....	39
1.3.2.1 Mecha de seguridad.....	40
1.3.2.2 Cordón detonante.....	41
1.3.2.3 Dispositivos eléctricos de iniciación.....	42
1.3.2.4 Dispositivos in eléctricos de iniciación.....	43
1.3.2.5 Detonador Nonel.....	43
2. PROCEDIMIENTOS TRADICIONALES EN LA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS PORTICADAS.....	45
2.1 GENERALIDADES DE LA DEMOLICIÓN.....	45
2.1.1 Demolición mecánica.....	47
2.1.2 Hundimiento provocado.....	48
2.1.3 Demolición con explosivos.....	49
2.1.4 Barrenos de expansión.....	50
2.2 DISEÑO TRADICIONAL DE UNA DEMOLICIÓN CON	

	EXPLOSIVOS.....	50
2.2.1	Edificios de hormigón armado.....	51
2.2.2	Barrenos.....	58
2.2.3	Vigas.....	59
2.2.4	Columnas.....	60
2.2.5	Muros.....	61
2.3	VOLADURA DE CAÍDA CONTROLADA.....	62
2.3.1	Ejemplo de voladura de caída controlada.....	64
2.3.2	Distancia de seguridad.....	85
2.4	VOLADURA CON DESPLOME.....	86
2.4.1	Ejemplo de voladura con desplome.....	87
3.	CÁLCULOS DE LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL Y DEL EDIFICIO CÓRDOBA TORRE CUATRO MEDIANTE MAC.....	114
3.1	EDIFICIO ADMINISTRATIVO UNIVERSIDAD NACIONAL.....	115
3.1.1	Cálculos con la ecuación de Cargas de Ruptura.....	121
3.1.2	Cálculos con la ecuación de Longitud de Carga.....	122
3.2	EDIFICIO CÓRDOBA TORRE CUATRO.....	124
3.2.1	Cálculos con la ecuación de Cargas de Ruptura.....	129
3.2.2	Cálculos con la ecuación de Longitud de Carga.....	129
	CONCLUSIONES.....	130
	RECOMENDACIONES.....	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	133
	APENDICES.....	134
	ANEXOS	
	Manual del usuario	
	Diagrama de flujo	

LISTA DE TABLAS

		Pág.
TABLA 1	Especificaciones técnicas del Indugel Plus AP.....	38
TABLA 2	Dimensiones de encartuchado del Indugel Plus AP.....	39
TABLA 3	Especificaciones técnicas de la mecha de seguridad.....	40
TABLA 4	Especificaciones técnicas del cordón detonante.....	41
TABLA 5	Cálculo de cargas para las columnas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel cero)....	68
TABLA 6	Cálculo de cargas para las columnas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel uno).....	69
TABLA 7	Cálculo de cargas para las columnas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel dos).....	70
TABLA 8	Cálculo de cargas para las columnas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel siete)...	71
TABLA 9	Cálculo de cargas para las vigas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel cero)..	78
TABLA 10	Cálculo de cargas para las vigas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel uno).....	79
TABLA 11	Cálculo de cargas para las vigas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel dos).....	80
TABLA 12	Cálculo de cargas para las vigas del edificio administrativo de la Universidad Nacional (Nivel siete)...	81
TABLA 13	Cálculo de cargas para las columnas del edificio Córdoba (Nivel cero).....	90
TABLA 14	Cálculo de cargas para las columnas del edificio Córdoba (Nivel uno).....	91
TABLA 15	Cálculo de cargas para las columnas del edificio Córdoba (Nivel dos).....	92
TABLA 16	Cálculo de cargas para las columnas del edificio Córdoba (Nivel tres).....	93
TABLA 17	Cálculo de cargas para las columnas del edificio Córdoba (Nivel siete).....	94
TABLA 18	Cálculo de cargas para los muros del edificio Córdoba...	98
TABLA 19	Cálculo de cargas para las vigas del edificio Córdoba (Nivel uno).....	102
TABLA 20	Cálculo de cargas para las vigas del edificio Córdoba (Nivel dos).....	103
TABLA 21	Cálculo de cargas para las vigas del edificio Córdoba (Nivel tres).....	104
TABLA 22	Cálculo de cargas para las vigas del edificio Córdoba (Nivel cuatro).....	105

TABLA 23	Cálculo de cargas para las vigas del edificio Córdoba (Nivel nueve).....	106
TABLA 24	Datos de los ejes tomados de los planos del edificio de la Universidad Nacional.....	116
TABLA 25	Dimensiones de las columnas del edificio administrativo	119
TABLA 26	Dimensiones de las vigas del edificio administrativo.....	120
TABLA 27	Datos de los ejes tomados de los planos del edificio Córdoba torre cuatro.....	125
TABLA 28	Dimensiones de las columnas Torre Córdoba.....	126
TABLA 29	Dimensiones de las vigas Torre Córdoba.....	127

LISTA DE CUADROS

		Pág.
CUADRO 1	Valores de K en función del radio de ruptura (m).....	53
CUADRO 2	Valores de K en función del radio de ruptura (pies).....	54
CUADRO 3	Factor de apisonamiento.....	55
CUADRO 4	Esquemas de perforación para muros.....	62

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
FIGURA 1	Diagrama de una viga perforada.....	56
FIGURA 2	Diagrama de un barreno.....	59
FIGURA 3	Barrenación en vigas.....	60
FIGURA 4	Barrenación en columnas.....	61
FIGURA 5	Caída controlada.....	63
FIGURA 6	Tiempos de retardo.....	63
FIGURA 7	Piso tipo del centro administrativo de la Universidad Nacional.....	65
FIGURA 8	Ubicación de las columnas del centro administrativo de la Universidad Nacional.....	66
FIGURA 9	Diagrama de perforación para columnas.....	72
FIGURA 10	Colocación de cargas y tiempos de retardo.....	73
FIGURA 11	Distribución de vigas.....	74
FIGURA 12	Diagrama de carga para la viga número uno.....	75
FIGURA 13	Tiempos de retardo para las vigas.....	77
FIGURA 14	Colocación de detonadores y cargas.....	82
FIGURA 15	Líneas de cordón detonante por niveles.....	83
FIGURA 16	Voladura con desplome.....	86
FIGURA 17	Tiempos de retardo para un pórtico.....	86
FIGURA 18	Planta tipo del edificio Córdoba.....	88
FIGURA 19	Diagrama de perforación para muros.....	95
FIGURA 20	Numeración de las vigas.....	97
FIGURA 21	Carga para la viga número uno.....	100
FIGURA 22	Tiempos de retardo de las columnas para los niveles uno y nueve.....	107
FIGURA 23	Tiempos de retardo de las columnas para el nivel dos....	107
FIGURA 24	Tiempos de retardo de las columnas para el nivel tres...	108
FIGURA 25	Tiempos de retardo de las columnas para el nivel cuatro	108
FIGURA 26	Tiempos de retardo de las vigas para los niveles uno y nueve.....	109
FIGURA 27	Tiempos de retardo de las vigas para el nivel dos.....	110
FIGURA 28	Tiempos de retardo de las vigas para el nivel tres.....	110
FIGURA 29	Tiempos de retardo de las vigas para el nivel cuatro.....	111
FIGURA 30	Líneas de cordón detonante para todos los niveles.....	112
FIGURA 31	Plano de las columnas enmarcadas en los ejes.....	115
FIGURA 32	Ventana para introducir el edificio de la Universidad Nacional.....	117
FIGURA 33	Ventana para editar la malla.....	117
FIGURA 34	Ventana para dibujar los elementos.....	118

FIGURA 35	Dimensiones de la columna número uno.....	119
FIGURA 36	Localización de vigas y columnas.....	121
FIGURA 37	Ventana para introducir el Edificio Córdoba.....	122
FIGURA 38	Ventana para editar la malla.....	123
FIGURA 39	Dimensiones de la columna número 25.....	123

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es brindar a la Ingeniería Civil un programa de computador que de manera confiable, rápida y sencilla realice todos los cálculos necesarios para ejecutar una demolición con explosivos.

El documento presenta información básica relacionada con los explosivos y accesorios utilizados en demoliciones, explica los conceptos y técnicas en el diseño de las voladuras y desarrolla ejemplos de diseño en forma manual para posteriormente ser comparados con los datos que arroja el programa.

El software realiza todos los cálculos involucrados en la demolición de estructuras porticadas en concreto; tales como cantidad de indugel, posición de las cargas explosivas dentro de la estructura, tiempos de retardo, además de otros importantes datos; apoyado en una presentación gráfica bastante sencilla.

Se presenta además un manual en donde de manera clara se explican todas las funciones del programa.

La metodología usada se apoya básicamente en apuntes de clase de los autores, conferencias del ingeniero Edgar Cañas Landazabal y normatividad publicada por la Industria Militar colombiana.

ABSTRACT

The objective of this work is to offer to the Civil Engineering a computer program that carries out all the necessary calculations to execute a demolition with explosive in a reliable, quick and simple way.

The document presents basic information related with the explosive and accessories used in demolitions, it explains the concepts and technical in the design of the explosions and it develops design examples in form manual for later to be compared with the data that it throws the program.

The software carries out all the calculations involved in the demolition of piazza concrete structures; such as quantity of indugel, position of the explosive loads inside the structure, times of retard, besides other important data; supported in a quite simple graphic presentation.

It is also presented a manual where in a clear way all the functions of the program are explained.

The used methodology leans on basically in notes of the authors' class, the engineer's conferences Edgar Cañas Landazabal and law published by the Colombian Military Industry.

INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de realizar un trabajo de grado como requisito para obtener el título de Ingeniero Civil en la UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, se optó por analizar un problema frecuente en el medio colombiano de la construcción; el poco uso que se le da a los explosivos cuando se trata de demoler edificios.

Cuando surge la necesidad de demoler un edificio, el Ingeniero tiene la opción de escoger entre dos alternativas a saber: la demolición mecánica o la demolición con explosivos. En la mayoría de los casos se opta por la primera opción, aunque genere mayores costos y tiempo de ejecución, esto ocurre debido al desconocimiento de las técnicas de demolición con explosivos y las ventajas que ella presenta.

Esta razón junto con la sugerencia del profesor de la materia de explosivos motivó estudiar la posibilidad de realizar un programa de computador que facilite la labor de diseñar las voladuras, para economizar dinero, disminuir tiempo y para fomentar el uso de explosivos en la demolición de edificios.

Se tiene noticia de que luego de la segunda guerra mundial los explosivos fueron utilizados por primera vez para la demolición de edificaciones seriamente afectadas después de los bombardeos realizados sobre las diferentes ciudades, en esta época se desarrollaron varios tipos de explosivos en las áreas militares pero el de uso común por los ingenieros era la dinamita, debido a sus propiedades de potencia y velocidad, dicho explosivo fue siendo desplazado por nuevos tipos de explosivos que ofrecían una mayor potencia y seguridad en su utilización debido a que son más

estables y menos sensibles, a medida que se desarrollaron nuevos elementos explosivos también se generaron nuevos métodos para demoler edificios tales como la implosión o la explosión controlada, con el fin de mejorar la efectividad y seguridad a la hora de utilizar cualquier material explosivo, dichos ensayos comenzaron con las voladuras en minas las cuales dieron los primeros parámetros para cálculos de cantidades y potencias de los explosivos, luego se trasladaron dichos datos y pruebas a los materiales de construcción tales como ladrillos, concreto, metal y muchos otros para poder saber como trabajaban los explosivos desarrollados en las obras civiles.

La demolición de edificaciones con explosivos se propuso como un método alternativo de gran eficiencia y rapidez con el cual se podían realizar fácilmente las demoliciones necesarias para poder reconstruir las ciudades devastadas por la guerra; inicialmente la Ingeniería se apoyó en el método del ensayo y error y con el transcurrir de los últimos cincuenta años se han mejorado dichos métodos de demolición por ello es que hoy en día se pueden calcular con exactitud los procedimientos a efectuar, las cantidades de explosivo a utilizar y las medidas de seguridad a seguir.

Teniendo en cuenta que en la demolición de estructuras, el ingeniero se puede enfrentar a varias alternativas de solución debido a la versatilidad que ofrecen los explosivos; se hace necesaria una herramienta con la cuál se puedan evaluar dichas alternativas para elegir la más conveniente.

Esto se puede realizar utilizando la tecnología disponible en cuanto a lenguajes y sistemas de computación, los cuales permiten agilizar los procedimientos de cálculo integrando las propiedades y requerimientos

básicos para el funcionamiento óptimo de los explosivos con el fin de determinar el comportamiento de las estructuras frente a la demolición.

De acuerdo con lo anterior se formula el siguiente problema:

¿Cómo conjugar los procedimientos utilizados actualmente en la demolición de estructuras porticadas en concreto con explosivos y la tecnología de la simulación computarizada?

El objetivo general del siguiente trabajo es elaborar un programa que simule la demolición de estructuras porticadas de concreto, de manera que sea más fácil de calcular las cantidades y ubicación de las cargas explosivas así como predecir el comportamiento de la estructura al efectuar las voladuras.

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Presentar la información básica sobre explosivos: características, propiedades y evolución; con base en consultas hechas en las diferentes bibliotecas y a los expertos en el área para fundamentar el desarrollo del trabajo.
- Destacar las medidas de seguridad que rigen el empleo de explosivos de producción nacional, con base en las leyes expedidas por la Industria Militar, el Ministerio de Defensa; con el fin de estar dentro de los parámetros establecidos.
- Presentar el procedimiento que se sigue tradicionalmente en el diseño de las voladuras para demoliciones con base en proyectos ya existentes para posteriormente compararlos con el programa de simulación.

- Ilustrar con un ejemplo el diseño de una demolición, mediante el programa de simulación para mostrar las ventajas de dicha herramienta, en cuanto a tiempo, maquinaria y dinero.

Es de suma importancia poder contar en el área de Ingeniería civil con un programa que ayude a los profesionales o a las firmas interesadas en estas actividades en forma confiable y metódica para poder diseñar con seguridad la demolición de estructuras de concreto verticales porticadas, aprovechando la tecnología computarizada con que se cuenta hoy en día.

La metodología empleada consistió en:

- Recolección de información relacionada con explosivos en diferentes fuentes nacionales (Industria Militar, Escuela de Ingenieros Militares, Biblioteca “Luis Ángel Arango”) e internacionales (Internet: diversas páginas relacionadas con demoliciones).
- Entrevistas con Ingenieros expertos en el área de explosivos.
- Entrevistas con Ingenieros expertos en programación de computadores.
- Consultas sobre legislación colombiana en lo que se refiere al uso de explosivos para demoliciones.
- Redacción de las memorias del proyecto.
- Desarrollo del programa, pruebas de funcionalidad, correcciones al funcionamiento.
- Síntesis de los resultados obtenidos.

Manual de explosivos y demoliciones (1996) de la Quinta División del Ejército constituye un importante documento en el cual se obtiene la literatura

necesaria para conocer todo lo relacionado con los explosivos de producción nacional.

Las conferencias de clase del Ingeniero Edgar Cañas Landazabal correspondientes a la materia de explosivos (2001) contienen toda la información necesaria para realizar el diseño de las demoliciones.

Cómo programar en C++ de Deitel & Deitel (2001) representa una herramienta muy valiosa a la hora de programar en lenguaje C.

Manual para la presentación del trabajo de grado (2000), Alicia Torres Muñoz: Es un documento fundamental que recopila las normas del trabajo científico, infaltable a la hora de realizar el trabajo de grado.

1. INFORMACIÓN BÁSICA

Los edificios, al igual que todas las cosas hechas por el hombre tienen una vida útil, la cual puede variar dependiendo de factores como la calidad de los materiales, las técnicas empleadas durante la construcción, eventos sísmicos que pueden alterar la seguridad de la estructura, y el medio ambiente entre otros.

Cuando una edificación no ofrece ningún tipo de garantías a los usuarios, incluso a los mismos vecinos, o simplemente si por razones de planeación territorial se requiere su demolición; el Ingeniero Civil se enfrenta a dos opciones; la demolición mecánica o la demolición con materiales explosivos.

La primera de ellas es más utilizada en Colombia, debido principalmente al desconocimiento por parte de los Ingenieros de las técnicas utilizadas en la demolición con explosivos, a su vez causado por que en la gran mayoría de las facultades de Ingeniería colombianas no se dicta una cátedra referente al tema.

La demolición mecánica resulta muy costosa y demorada, si se compara con la demolición con explosivos, debido a que en Colombia no existen máquinas de gran envergadura para causar el colapso de la estructura.

A continuación se expondrá una reseña de la evolución que han tenido los explosivos comenzando en el siglo II a.C. y finalizando en la época actual, junto con la historia de las demoliciones a nivel mundial, así mismo se explicarán las características comunes a todos los explosivos y finalmente la

información se centrará en los explosivos disponibles utilizados para demolición de estructuras y producidos por la Industria Militar colombiana.

1.1 HISTORIA DE LOS EXPLOSIVOS

Según información de la Escuela de Ingenieros Militares (1996), la pólvora es el primer explosivo del que se tiene referencia histórica, muchos historiadores atribuyen su invención a los chinos entre los años 201 y 207 antes de Cristo. En esa época y hasta el siglo XII de la era cristiana la pólvora se utilizaba únicamente para fabricar juegos pirotécnicos.

Posteriormente, en el siglo XIII; Roger Bacon (Inglaterra) comenzó a experimentar con la pólvora y poco después fue utilizada como carga de proyección en los bombarderos del siglo XIV; pero pasaron tres siglos más, para que la pólvora fuera utilizada para realizar un trabajo útil, fue así como en el siglo XVII, más exactamente en febrero de 1627, un tirolés llamado Kaspar Weindl, la utilizó en las Reales Minas de Schemnitz (Hungría). Ya en 1689, se utilizaba pólvora negra en los trabajos de las minas de estaño en Cornwall, Inglaterra.

La industria de la pólvora negra se emprendió rápidamente en territorio americano y en 1676 ya se producía una pólvora tan buena y tan potente como la mejor pólvora inglesa.

Según la Compañía Mexicana de Explosivos “Dupond” (1973) la primera referencia real que se conoce sobre voladuras en los Estados Unidos, fueron las hechas en 1773 para la construcción de la prisión de Newgate en el

mismo sitio de las minas de cobre de Simsbury. Fue una habitación de 5 por 4 metros que se utilizó para confinar a los criminales durante la revolución.

A finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX fueron apareciendo otros tipos de explosivos, pero la pólvora negra fue la única que subsistió para usos generales; así mismo los Estados Unidos comenzaron una rápida expansión y con ayuda de la pólvora se excavaron alrededor de treinta canales entre 1790 y 1850, algunos de estos fueron: el canal de Erie, el de Chesapeake y el canal de Ohio. Así mismo se construyeron igual número de ferrocarriles entre 1830 y 1850. Durante estos años los Estados Unidos producían alrededor de 25 millones de libras de pólvora para voladura por año.

En el año de 1846 un químico italiano llamado Ascanio Sobrero prepara por primera vez la nitroglicerina y un año más tarde crea un explosivo compuesto de nitroglicerina absorbida por materias porosas que contienen otros ingredientes generadores de energía pero finalmente abandona sus investigaciones.

Posteriormente el sueco Alfred Nobel, junto con su padre Immanuel trataron de encontrar una aplicación técnica a las propiedades explosivas de la nitroglicerina; de esta manera diseñaron el primer fulminante razonablemente seguro y eficiente, una cápsula de estaño (posteriormente cobre) llena con fulminato de mercurio. En 1866 Alfred mezcló la nitroglicerina con un absorbente para formar una sustancia sólida sensible a la acción de un fulminante pero relativamente insensible a un golpe ordinario. El absorbente que utilizó era kieselguhr (una especie de tierra porosa), y este explosivo sólido fue la dinamita.

Al año siguiente, Theodore Winkler en asocio con Nobel, fabricó tres libras de dinamita en San Francisco (Estados Unidos) y demostró su acción volando grandes rocas a lo largo de la línea de ferrocarril Bay View. Inmediatamente después, una compañía americana comenzó la fabricación de la dinamita en una planta localizada cerca de allí.

La primer gran obra en la que se utilizó la dinamita con éxito en los Estados Unidos fue durante la perforación del túnel Musconnetcong, de poco menos de una milla de largo, su construcción se comenzó en el otoño de 1872 y se alcanzaron a utilizar hasta 17000 libras de dinamita por mes. Los frentes tuvieron un avance máximo de 45 metros por mes.

En 1875, Alfred Nobel efectuó otro descubrimiento de gran importancia disolviendo algodón colodión en nitroglicerina. Dando como resultado una masa gelatinosa que era mucho más poderosa que la dinamita que inventara años antes; esta es en esencia la antecesora de todas las dinamitas gelatinas.

La dinamita gelatina se utilizó por primera vez en la perforación del segundo acueducto de Croton, entre los años de 1884 y 1890 el cual abastece a la ciudad de Nueva York y fue el primero de los grandes acueductos norteamericanos.

Un problema que presentaba la dinamita era que, debido al contenido de nitroglicerina, tenía un punto de congelamiento relativamente alto; (alrededor de 11°C.) de esta manera, al realizar trabajos en invierno a temperaturas menores que esta, se encontraba dinamita congelada que, aparte de ofrecer malos resultados, representaba gran peligro para su uso.

En el año de 1925, al utilizar dinitrato de etilén-glicol como depresor del punto de congelación para la nitroglicerina, se alcanzó una solución práctica para este problema. De esta manera las dinamitas que contienen mezclas nitradas de glicerina y etilenglicol en proporciones adecuadas soportan temperaturas muy bajas con un funcionamiento muy satisfactorio.

El nitrato de amonio fue reemplazando gradualmente la nitroglicerina, pues aunque tiene aproximadamente un 30% menos de potencia que esta, tiene la ventaja que es menos sensitivo y menos caro. Además se idearon varios medios para darle resistencia al agua a esta dinamita. Todo esto dio como resultado explosivos que son menos peligrosos de fabricar, manejar, usar y son más económicos.

En el año de 1935 se produjo otro importante hallazgo; la introducción del “Nitramón” por la compañía Du Pont en Estados Unidos. El nitramon es un agente explosivo que no contiene nitroglicerina ni otro ingrediente que esté clasificado como un explosivo, es insensible a la acción de un fulminante ordinario comercial, al golpe, a la fricción o al impacto de una bala. Debe detonarse mediante una carga de cebo de un material más sensible.

Así mismo vinieron otros desarrollos como el Nitramite, el Nitramex los cuales varían básicamente en su potencia.

La mayor explosión no nuclear conocida se efectuó el 5 de abril de 1958, cuando se detonaron 1'250.100 kilogramos de Nitramex en Seymour Narrows, Columbia Británica para eliminar dos picos conocidos como Ripple Rock, pues durante muchos años constituyeron un serio peligro para la navegación.

En 1961 aparecen en el mercado los detonadores eléctricos con retardo; (de gran importancia para la demolición de estructuras). Esta serie consta de catorce periodos de retardo regulares, más un periodo cero "0" , esto asegura un intervalo de tiempo entre periodos sucesivos para permitir la caída de la estructura en la dirección deseada, tal como se verá en el capítulo dos.

1.1.1 RESEÑA HISTÓRICA SOBRE DEMOLICIONES CON EXPLOSIVOS

Las primeras estructuras que se sabe se demolieron con explosivos, fueron las destruidas en Europa tras la Segunda Guerra Mundial, pues quedaron seriamente afectadas tras los bombardeos a los que fueron expuestos. Paralelamente se iba avanzando en el desarrollo de los explosivos para ofrecer mayor potencia y seguridad en su uso.

Así mismo se desarrollaban las técnicas de demolición; implosión y explosión controlada. La primera de ellas ocurre cuando se hace caer la estructura sobre sus mismas bases, es decir en el mismo sitio en que se encuentra, y la explosión controlada consiste en dirigir la caída del edificio hacia un lado de la estructura previamente determinado para que no se afecten las estructuras aledañas.

Una importante estructura demolida mediante explosivos fue el hotel Pennsylvania, situado en la laguna interior de West Palm Beach, Florida; el cual tenía 69 años de haber sido construido y sobre el cual se decidió que debía ser sustituido por otro más moderno. (Revista Investigación y Ciencia, Diciembre de 1995).

Así fue como el sábado 18 de febrero de 1995 en apenas cinco segundos, se desplomó la sección central y su caída arrastró el resto del edificio, convirtiendo todo en un montón de escombros, a cuatro metros de la parte sur del hotel había otro edificio que permaneció intacto.

El hotel fue demolido mediante implosión utilizando la dinamita apenas indispensable para debilitar sus soportes estructurales y que el peso del edificio provoque su propio colapso.

En este trabajo se debía asegurar la intacta permanencia de la residencia asistencial Lourdes-Noreen McKeen, separada del hotel por un pequeño callejón.

Como no fue posible conseguir los planos estructurales del hotel, se realizó entonces un plano de ubicación de las columnas de la construcción, así como una serie de extracción de muestras de concreto para conocer la resistencia de este y así asegurar que el hotel se derrumbara en la dirección deseada.

Posteriormente se retiraron 4.500 toneladas de escombros, incluyendo los restos de un ascensor y una piscina.

Luego de muchos cálculos cuidadosos, se concluyó que se requerían colocar 200 gramos de explosivos en cada uno de los 400 barrenos que se debían perforar en las columnas de los tres pisos.

Pero aquí fue donde surgió el primer problema pues los obreros tardaron tan solo cuatro días en perforar los 400 orificios para las cargas, esto significaba que la calidad del concreto era mucho peor de lo que los Ingenieros

sospechaban, lo que se confirmó aún más con la detonación de pequeñas cargas de dinamita en algunas columnas previamente seleccionadas.

Muy seguramente, la mala calidad de los materiales se debía a que los constructores de muchos antiguos edificios, habían utilizado arena de playa sin previa limpieza de la sal marina para fabricar el concreto; obviamente esto generó un lento proceso de oxidación de las barras de refuerzo. Aparte de esto en lugar de agregado se utilizaba coral calcificado lo cual producía un rápido desgaste e impedía que el concreto se adhiriera correctamente a la armadura de refuerzo.

Si el concreto se encuentra muy debilitado en una estructura, es muy difícil controlar el lugar de caída de los escombros luego de detonar los explosivos; pues es necesario que las vigas y las columnas del edificio que se va a demoler tengan la suficiente resistencia para poder ser guiados a donde se quiere.

De esta manera los Ingenieros se vieron obligados a añadir concreto, instalar abrazaderas en las columnas para reforzar la estructura antes de la implosión, y anclar cables de acero entre columnas adyacentes del ala sur; esto con el fin de garantizar la integridad de la residencia que estaba al otro lado del callejón. Así mismo se hizo una excavación en la planta baja para facilitar el amontonamiento de los escombros.

Por otra parte se dividió el edificio en dos partes independientes haciendo una fisura desde la parte de enfrente hasta la parte de atrás y desde la punta superior hasta la parte inferior para detonar las cargas en una secuencia tal que provocara que las columnas más próximas al corte fallaran primero y tras de sí la caída en serie de las columnas adyacentes, y así

sucesivamente. De esta manera, cuando cae la primera fila de columnas a cada lado del corte, a continuación detonan las cargas de las vigas apoyadas sobre estas, inclinando la estructura hacia el corte e iniciando el colapso progresivo en la dirección deseada.

En total se utilizaron 55 kilogramos de explosivos, una cantidad menor que la inicialmente prevista, debido a la baja poca resistencia del concreto. El número de barrenos por columna variaba entre uno y tres, dependiendo de la rapidez de colapso deseada. Cada columna se recubrió con una lona de polipropileno y un malla, esto con el fin de evitar las proyecciones que pueden causar heridas y daños materiales.

También se contrató una compañía sismográfica para obtener registros, con el fin de prevenir posibles reclamos de las viviendas vecinas por posibles daños atribuidos a las vibraciones.

Finalmente se contrató una empresa para que hiciera la labor de retirar los escombros, y aunque esta operación tardó algunas semanas, toda la operación requirió menos tiempo y fue más económica que derribar la estructura con una bola de demolición o a mano.

Así mismo, otras estructuras demolidas han sido: el puente Dunbarton (sobre la bahía de San Francisco), 26 edificios que resultaron afectados después del terremoto de 1985 en Ciudad de México, el edificio de la Travelers Insurance, (Boston), entre otros.

En Colombia, aunque no es común la demolición con explosivos, tras el terremoto del eje cafetero el 25 de enero de 1999, fueron muchas las estructuras que resultaron seriamente afectadas, (la mayoría debido a la

pobreza en la calidad de los materiales) y realmente representaban un peligro para la comunidad, pues era más fácil tumbarlas que reconstruirlas.

Así fue como varios edificios fueron demolidos con explosivos poniendo fin a tal inconveniente.

1.2 PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

A raíz de las múltiples situaciones de la Ingeniería en las que se requiere el uso de explosivos, estos; con el transcurrir del tiempo han evolucionado y han desarrollado varias propiedades que, dependiendo de la necesidad que se presente, ayudan a llevar a cabo la labor con éxito. Según la Escuela de Ingenieros Militares (1996) y la Compañía Mexicana de Explosivos “Dupond” (1973); estas características son:

1.2.1 Potencia

Esta propiedad equivale a la cantidad de energía que tiene el explosivo y al trabajo que este pueda realizar. Existe la potencia relativa por peso y la potencia relativa por volumen. La potencia relativa de un explosivo se expresa como porcentaje de otro que se toma como patrón (ANFO, Goma pura, etc.) al cual se le asigna el valor de 100.

El método más importante para medir la energía disponible de los explosivos es la prueba de TRAUZL, la cual consiste en determinar la expansión que producen 10 gramos del explosivo a evaluar dentro de un bloque cilíndrico de plomo de dimensiones preestablecidas, el resultado de esta prueba se compara con el resultado de la prueba hecha con la misma cantidad de

gelatina explosiva, la cual se toma como patrón de referencia, ya que posee un 100% de potencia. El resultado se expresa en centímetros cúbicos cuando se indica la capacidad o trabajo del explosivo debido al incremento de volumen del agujero inicial, o en porcentaje cuando se compara con el patrón. Así una determinada dinamita tendrá una fuerza de 60% cuando la expansión que provoca en el bloque de plomo es igual al 60% del volumen generado por la detonación de la gelatina explosiva.

1.2.2 Velocidad de detonación

La velocidad de detonación es la rapidez a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía. La densidad de la carga, el diámetro, el confinamiento, la iniciación y el envejecimiento del explosivo son factores que afectan directamente la velocidad de detonación. Los tres primeros son directamente proporcionales a la velocidad de detonación.

Si la iniciación no es lo suficientemente enérgica puede ser que el régimen de detonación comience con una velocidad baja y el envejecimiento también hace que la velocidad de detonación disminuya.

1.2.3 Densidad

En explosivos, esta propiedad se puede dividir en dos: densidad real y densidad gravimétrica.

La densidad real es la relación entre el peso del explosivo y su volumen cuando dicho volumen está ocupado completamente por el explosivo; es decir no existen espacios vacíos. Por lo general la densidad real de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 g/cm³.

La densidad gravimétrica es la relación del peso del explosivo y su volumen cuando este se encuentra fragmentado con espacios vacíos entre sus partes.

La densidad en los explosivos es un factor importante pues si es muy baja, la sensibilidad es muy alta y si por el contrario la densidad es muy alta, el explosivo pierde sensibilidad; ambos casos muy peligrosos para quien manipula el explosivo.

1.2.4 Presión de detonación

Esta característica se refiere al efecto demoledor, que aplica el explosivo sobre el material a fracturar para iniciar su rompimiento. La presión de detonación es función de la densidad y del cuadrado de la velocidad de detonación.

Para determinar la presión de detonación se realiza la prueba de Hess y la cual se expresa en mm. de aplastamiento que sufre un cilindro de plomo de dimensiones estandarizadas por el efecto de la explosión de 100 g. del material explosivo en estudio; algunas veces este resultado es comparado con la prueba realizada con la misma cantidad de gelatina explosiva, que para este caso produce alrededor de 25.0 mm. de aplastamiento.

1.2.5 Resistencia al agua

Es la capacidad del explosivo para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características, la resistencia al agua depende de la proporción de nitroglicerina o aditivos especiales que contenga el explosivo y de las condiciones estáticas o dinámicas del fluido al que está sometido explosivo.

La escala de clasificación es: nula, limitada, buena, muy buena y excelente;

siendo nula un explosivo que no tiene ninguna resistencia al agua y excelente un tipo de explosivo que soporta más de 12 horas de exposición al agua.

1.2.6 Resistencia a la congelación

Cuando existen bajas temperaturas en el lugar de almacenamiento, las dinamitas gelatinas se endurecerán, y tanto estas como las dinamitas granulares se pueden endurecer como resultado de la absorción de humedad o cambios de temperatura, dando la sensación de que se ha congelado. Esto se puede comprobar fácilmente empujando un alfiler en el cartucho; el alfiler no penetrará en la dinamita congelada, pero si en los cartuchos que simplemente están endurecidos.

Todos los explosivos producidos en Colombia pueden resistir las más bajas temperaturas encontradas en este país.

1.2.7 Sensitividad

La sensitividad es la medida de la capacidad de iniciación. Aunque las pruebas de caída y fricción son medidas de sensitividad, el uso más frecuente de estas pruebas se relaciona con los agentes explosivos que son relativamente insensibles. Cualquier compuesto o composición que se pretenda utilizar en voladuras y que pueda iniciarse en condiciones de prueba establecidas con un detonador número 8, se clasifica como un alto explosivo. El incremento de la sensitividad no necesariamente conduce a un mejoramiento de las características de propagación o de la acción de voladura. Sin embargo puede conducir a una mejor seguridad ya que estos compuestos, por lo regular, no se manejan con equipo o métodos desarrollados para compuestos explosivos sensibles.

Por lo general este ensayo se realiza sobre una placa de plomo en la que se deposita un cartucho de explosivo de dimensiones determinadas y con diferentes disparos se determina la potencia mínima del detonador que se requiere. Generalmente se clasifican según si son, o no sensibles al detonador No 8.

1.2.8 Sensibilidad

Es la capacidad que tiene el explosivo para explotar ante un golpe, calor, fricción o la combinación de estos.

- Sensibilidad al golpe y a la fricción: es muy importante conocer que tan susceptible es el explosivo ante un impacto o bajo condiciones de fricción, esto para conocer de que forma se debe manipular y transportar.

La sensibilidad al golpe se conoce mediante la prueba de Kast que consiste en colocar sobre un yunque una muestra de explosivo de 0.1 g. sobre la que se deja caer un peso de acero que varía entre 0.5 y 10 Kg. Desde diferentes alturas para observar si la muestra explota o no.

Para el ensayo de fricción se utiliza el método de Julius Peter que consiste en someter a un explosivo a un proceso de rozamiento entre dos superficies de porcelana sobre las que se ejercen diferentes presiones. Luego se observa si ha existido carbonización, deflagración o explosión.

- Sensibilidad al calor: cuando un explosivo se calienta en forma gradual, en algún momento llegará una temperatura a la cual se descompondrá con desprendimiento de gases y hasta una pequeña explosión. A esta temperatura se le llama “punto de ignición”.

Se debe diferenciar la sensibilidad al calor, de la sensibilidad al fuego la cual indica su facilidad de inflamación.

1.2.9 Estabilidad

La estabilidad es la propiedad que tienen los explosivos para mantener sus características químicas bajo condiciones normales; este ensayo se realiza mediante la prueba de Abel, que consiste en calentar una muestra de explosivo durante un tiempo y temperatura determinados, para observar el momento en que se inicia su descomposición. Un explosivo correctamente almacenado no debe presentar disgregación, descomposición o separación de sus componentes.

1.2.10 Diámetro crítico

Es el diámetro del explosivo por debajo del cual la onda de detonación no se propaga, y si lo hace es con una velocidad muy por debajo a la normal. Cabe anotar que esta característica aplica sólo para los explosivos que tienen forma cilíndrica.

1.2.11 Transmisión de la detonación

También conocida como “coeficiente de auto excitación” o “simpatía”; y corresponde a la capacidad que tienen los explosivos que, luego de explotar; ocasionan la detonación de otras cargas localizadas a corta distancia, debido a las ondas producidas por la explosión.

El método para medir la detonación por simpatía consiste en alinear axialmente varios cartuchos de explosivos con las mismas especificaciones sobre una capa de arena espaciados a diferentes distancias y envueltos en papel kraft. Y luego de detonar el primer cartucho se determina la máxima distancia hasta la cual puede transmitir la detonación hacia otro cartucho.

1.2.12 Emanaciones

Como resultado de una detonación con explosivos se producen generalmente los siguientes tipos de gases: dióxido de carbón, nitrógeno, vapor, monóxido de carbón y los óxidos de nitrógeno. Los tres primeros no son tóxicos, pero los dos últimos son venenosos; a estos se les conoce como emanaciones.

Para trabajos a cielo abierto generalmente las emanaciones no son de cuidado, pero si se trabaja en condiciones cerradas; se exige una cuidadosa consideración a la selección del explosivo, cantidad y lo más importante a la ventilación.

Los explosivos fabricados actualmente para ser utilizados en lugares en donde las emanaciones sean un problema, producirán mínimas cantidades de gases tóxicos; sin embargo en toda detonación de explosivos que contengan nitratos y material carbonoso, producen algo de monóxido de carbón y óxido de nitrógeno, y además las condiciones de uso pueden cambiar radicalmente el tipo de gases producidos.

1.2.13 Inflamabilidad

Esta propiedad se refiere a la facilidad con que un explosivo puede incendiarse. En el caso de las dinamitas, esto variará desde algunos tipos que se inflaman rápidamente y se queman con violencia, hasta otros que no soportarán una combustión a menos que se aplique una fuente exterior de flama.

1.3 TIPOS DE EXPLOSIVOS UTILIZADOS EN DEMOLICIONES

Posteriormente a la segunda guerra mundial, los explosivos basados en nitroglicerina conocidos como dinamita, fueron utilizados por para la demolición de edificaciones seriamente afectadas después de los bombardeos realizados sobre las diferentes ciudades, a partir de esta época se empezaron a desarrollar diferentes tipos de explosivos, pero el de uso común por los ingenieros era la dinamita, gracias a sus propiedades de potencia y velocidad, dicho explosivo fue siendo desplazado por nuevos tipos de explosivos que ofrecían una mayor potencia y seguridad en su utilización debido a que son más estables y menos sensibles. Las voladuras en minas dieron los primeros parámetros de cálculo para cantidades y potencias de los explosivos, luego se trasladaron dichos datos y pruebas a los materiales de construcción tales como ladrillos, concreto, metal y muchos otros para poder saber como trabajaban los explosivos desarrollados en las obras civiles.

En Colombia para la demolición de estructuras se utiliza el Indugel Plus AP, producido y distribuido por la Industria Militar.

1.3.1 Indugel Plus AP

Explosivo tipo Hidrogel con sustancias gelificantes que evitan la segregación del agua y el resto de los ingredientes sensibilizados en la mezcla. Desarrollado en pequeño diámetro de rocas duras. Tiene las siguientes características:

1. Excelente resistencia al agua.
2. Elevada seguridad en su manejo debido a su baja sensibilidad al roce y al

- impacto.
3. Explosivo denso, fácilmente sumergible en agua y con alta energía específica.
 4. Humos: clase 1 de acuerdo al test del instituto de fabricantes Explosivos(USA).
 5. No produce dolores de cabeza durante su almacenamiento y empleo.
 6. Sensible al detonador No. 8.
 7. Cartuchos con numeración codificada.

En tabla 1 y tabla 2 se presentan algunas especificaciones técnicas correspondientes al Indugel plus AP.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del Indugel Plus AP.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Densidad (g/cm^3)	1.2 0.03
Resistencia al agua	Excelente
Velocidad de detonación (m/s)	4200 200
Potencia absoluta en peso AWS (cal/g)	904
Potencia absoluta en volumen ABS (cal/cm)	1085
Potencia relativa en volumen RDS (ANFO = 100)	143

Tabla 2. Dimensiones de encartuchado del Indugel Plus AP.

DIMENSIONES DE ENCARTUCHADO	
(mm.)	Cartuchos por caja
44 X 250	54
38 X 250	72
32 X 250	102
26 X 250	154

1.3.2 Accesorios de voladura

Existen además algunos accesorios necesarios para llevar a cabo una voladura exitosa, entre de ellos se encuentran los de uso más común como son: cordón detonante de alto gramaje (6 y 12 gr de pentrita) y bajo gramaje (3 gr de pentrita), mecha de seguridad o mecha lenta, multiplicadores también conocidos como booster, micro retardos, conectores para cordón detonante, etc.

Existe la necesidad de activar el explosivo mediante otros explosivos (detonadores o iniciadores) menos potentes pero más fáciles de explosionar. Estos iniciadores dependen del material principal que hay que activar y pueden ser entre otros, la energía de una llama transmitida por una mecha, en el caso de los detonadores convencionales cuyo funcionamiento es menos sofisticado que la detonación producida por una corriente eléctrica en el caso de los detonadores eléctricos.

1.3.2.1 Mecha de seguridad: la mecha de seguridad es fuerte y flexible con un núcleo de pólvora negra muy fina o “pulverín” sensible a la llama, rodeado de papel, varias capas de hilo, brea y cloruro de polivinilo para garantizar su impermeabilidad. Se encarga de transmitir una llama o fuego a una velocidad conocida y constante hasta un detonador sensible a la misma, el cual explota y se encarga de iniciar a los explosivos sensibles que estén en contacto con él. Cuenta además con una resistencia a la tracción, abrasión y esfuerzos mecánicos.

Dado a su inmejorable alcance de llama, inicia todo tipo de detonador común ya sea No. 6 u 8, de casquillo de aluminio o cobre. Está diseñada de 130 10 seg/m. Su comportamiento en ambientes húmedos o barrenos con agua, es normal siempre y cuando no haya sido sometida a maltratos que afecten su capa impermeabilizante, lo cual da como resultado una posible interrupción en la combustión por presencia de agua en la pólvora.

En la tabla 3 están las especificaciones técnicas de la mecha de seguridad producida en Colombia.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de la mecha de seguridad

Especificaciones técnicas	Unidad	Cantidad
Densidad de carga	g/m	5 0.5
Velocidad de combustión	Seg./m	130 10
Resistencia a la tracción	Kg-f	60 5
Alcance de llama	mm.	40 mínimo
Resistencia a la humedad	Excelente	

1.3.2.2 Cordón detonante: es un cordón flexible conformado por un núcleo de un alto explosivo: Pentrita (PETN), protegido por papel, capas de hilo revestimiento plástico, lo que permite su uso con máxima seguridad en ambientes húmedos o bajo agua. Posee muy resistencia a la tracción y abrasión.

El cordón detonante se utiliza como iniciador e intercomunicador de barrenos entre sí; para trabajos de corte y voladuras especiales. Empleado como línea principal puede iniciar cualquier cantidad de líneas adicionales conectadas con nudo hasta formar una red haciendo detonar a todos los barrenos en forma simultánea.

En la tabla 4. Se muestran las especificaciones técnicas del cordón detonante.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del cordón detonante

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDAD	CANTIDAD
Densidad de carga	g/m	12, 6, 3
Velocidad de detonación	m/seg.	7000 200
Resistencia a la tracción	Kg - F	90 5
Resistencia a la humedad	Excelente	
Sensibilidad al detonador No. 8	Positivo	
Impermeabilidad a la presión hidrostática de 3.0 Kg/cm^2	Excelente	

1.3.2.3 Dispositivos eléctricos de iniciación: el principal dispositivo eléctrico de iniciación es el detonador eléctrico, los cuales están equipados sistemas eléctricos de ignición, de tal modo que pueden dispararse mediante una corriente eléctrica. Cuando se conectan adecuadamente a una buena fuente de energía, es posible disparar un gran número de detonadores eléctricos desde un lugar lo suficientemente lejano y seguro.

Aunque por lo general los detonadores eléctricos son muy resistentes al abuso y a la electricidad extraña; para evitar una detonación prematura no se deben someter a abuso, exponerlos a fuentes de electricidad extraña , o golpearlos.

Básicamente, todos los detonadores eléctricos consisten en un casquillo metálico dentro del cual se colocan diferentes cargas de pólvora, y de un elemento eléctrico de ignición conectado a un par de alambres aislados.

En los detonadores eléctricos instantáneos, las cargas de pólvora constan de una carga base de alto explosivo, una carga de cebo y una carga de ignición, dentro de la cual se coloca el elemento eléctrico de ignición. Este elemento de ignición es un pequeño tramo de alambre de alta resistencia que se suelda a los extremos de los alambres formando un puente. En el extremo del casquillo está firmemente sujeto un tapón de hule que rodea a los alambres precisamente arriba del puente de alambre. Esto forma un cierre altamente resistente al agua y también da una posición firme al puente en el centro de la mixtura de ignición. Cuando se hace pasar suficiente energía eléctrica a través del sistema, el puente se calienta lo necesario para encender la mezcla de ignición, lo que a su vez provoca la detonación de la carga del cebo y ésta la detonación de la carga base.

En los estopines eléctricos de retardo se interpone entre la mezcla de ignición y la carga de cebo un elemento de retardo. Este elemento de retardo requiere de un periodo definido de tiempo para quemarse, lo que proporciona un intervalo de retardo predeterminado entre la aplicación de la corriente eléctrica y la detonación del estopín *

1.3.2.4 Dispositivos inelétricos para iniciación: los detonadores corrientes o inelétricos están diseñados para disparar por medio del fuego o chispa producidos por el quemado de la mecha de seguridad. Estos detonadores están formados por casquillos de aluminio llenos con dos o más cargas explosivas y por lo menos una de ellas es una carga de detonación. Los detonadores corrientes tienen tres cargas: una carga base de explosivo de alta velocidad en el fondo del casquillo, otra carga de cebo en el centro y por último una carga de ignición en la parte superior. La carga de ignición se activa por el fuego de la mecha de seguridad, y la de cebo transforma el quemado en detonación, iniciando el alto explosivo de la carga base.

1.3.2.5 Detonador Nonel: consiste en un tubo delgado de plástico transparente de 3 mm de diámetro recubierto en su interior por una fina película de explosivo de 20 mg/m y una cápsula detonadora. La velocidad de la onda de choque dentro del tubo es de 2000 m/s y no tiene la suficiente potencia para iniciar los explosivos en contacto con dicho tubo, aunque estos sean muy sensibles.

La iniciación puede realizarse mediante un detonador, un cordón detonante o una pistola especial cargada con cartucho de fogeo.

* Detonador

Estos detonadores se comercializan con los siguientes intervalos de retardo: 25 ms., 100 ms., 200 ms. y 500 ms.; comenzando con un tiempo mínimo de 75 ms. hasta un máximo de 2000 ms.

2. PROCEDIMIENTOS TRADICIONALES EN LA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS PORTICADAS

Cuando existe la necesidad de realizar un nuevo proyecto en un sitio o lugar que ya ha sido ocupado por otras construcciones, se hace necesario remover parcial o totalmente dichas estructuras las cuales pueden ser demolidas con diversos procedimientos de acuerdo a varios factores como son: el tamaño de la estructura, el material en que está construida, el tiempo de ejecución, maquinaria y equipos disponibles, presupuesto, intervención en el medio ambiente, entre otros. Dichos parámetros permiten elegir el método más eficiente y económico en cuanto a tiempo y recursos se refiere.

En los últimos tiempos, se ha tratado de mejorar las técnicas de demolición de tal forma que sean de fácil ejecución, seguras, efectivas y sobre todo económicas, siendo la demolición con explosivos la más utilizada por su rapidez y rendimiento en obras de gran magnitud, debido a que otras técnicas como la demolición mecánica requiere una mayor cantidad de equipo y personal además de ser más lenta en su ejecución. A continuación se presentan los aspectos más relevantes de algunas técnicas utilizadas en la demolición de estructuras.

2.1 GENERALIDADES DE LA DEMOLICIÓN

El arte de demoler es casi tan antiguo como el de construir. La correcta demolición de un edificio u otro tipo de estructura requiere mucha destreza y experiencia. En general, las principales formas de demoler una estructura son:

Desmantelar: quitar pieza a pieza, derribarla o empujarla, hundirla por su propio peso normalmente con la ayuda de explosivos, romperla mediante mazos de dos manos, o una bola pesada, o la combinación de todos estos procedimientos otras herramientas utilizadas muy a menudo son los martillos neumáticos rompedores los cuales pueden manuales (martillos livianos) ó mecánicos (martillos pesados).

Preparación: Hay muchos factores a considerar antes de elegir el procedimiento mediante el cual se va a demoler una estructura determinada. Habrá que tener en cuenta el tamaño y el tipo de construcción, la proximidad con otros edificios, el tiempo y coste necesario y cualquier riesgo particular, tal como una debilidad peligrosa de la estructura debida al fuego o a una avenida de agua.

Una vez que se ha decidido el procedimiento, el primer paso es desconectar los cables del fluido eléctrico y el teléfono, las conducciones de gas y agua y los desagües y alcantarillado. En el caso de puentes de carreteras o ferrocarril por los que suelen pasar cables y tuberías, éstos deben ser desconectados y derivados por otro camino, según decidan las autoridades correspondientes.

Todas aquellas partes que puedan ser vendidas, tales como cables eléctricos, tuberías de cobre o plomo, etc., hay que sacarlas antes de comenzar el derribo, y durante el transcurso de éste se recuperará todo lo que sea aprovechable.

Es posible que se necesiten soportes temporales, tales como puntales o riostras, con objeto de evitar un hundimiento imprevisto de la estructura mientras se está trabajando en la demolición, por lo que habrán de ser

colocados, junto con las redes protectoras que evitan los accidentes producidos por caída de escombros y remanentes de diferentes materiales, antes de que comience la demolición propiamente dicha. Los pedazos de materiales resultantes del derribo de las partes altas del edificio se hacen llegar hasta el suelo por medio de un amplio tubo colocado al efecto.

2.1.1 Demolición mecánica

La demolición de edificios (Huete, 1995) por medio de herramientas normales, incluidos los martillos neumáticos y mazas, debe llevarse a cabo en sentido inverso al de la construcción. Para ello, se levantan andamiajes en los cuales se pueda trabajar con seguridad. Este tipo de demolición es adecuado para estructuras pequeñas, tales como casas, pero para las de gran altura, como chimeneas o torres de refrigeración, el andamiaje sólo se monta en las partes superiores, hasta que la demolición llega a una altura adecuada que permite completarla con medios mecánicos (bolas de acero, empujadores o cables metálicos).

Comenzando por la cubierta, se cortan las vigas y se hacen descender por medio de grúas o cabrias; las placas de hormigón armado se cortan en franjas paralelas a la armadura principal. Antes de proceder al derribo de muros de carga o vigas maestras, hay que efectuar las comprobaciones necesarias con objeto de asegurarse de que no se producirá el hundimiento incontrolado del resto del edificio.

El hundimiento puede ocurrir también por el aumento de presión que ocasiona el peso de los escombros procedentes del derribo de las partes superiores, por lo que es necesario retirarlos cuando alcanzan cierto volumen.

Uno de los procedimientos mecánicos más ampliamente utilizado para

demoler edificios es el que se lleva a cabo por medio de una pesada bola de acero colado, en forma de pera, suspendida de una grúa. Esa bola se hace oscilar y cuando alcanza cierto impulso se dirige contra la estructura, o bien se la deja caer sobre ésta. No debe emplearse en edificaciones de más de 30 m de altura, por lo que, como se dijo antes, las partes altas se derriban manualmente. Debido a que la mayoría de las grúas no están construidas para soportar los efectos de fuertes choques, su uso en este caso se limita al derribo de superficies horizontales, tales como placas o suelos de hormigón.

Las estructuras de ladrillo o mampostería se suelen derribar mediante un brazo mecánico que las empuja. Este brazo, de unos 5 m de longitud, se fija en lugar de la cuchara de una potente máquina excavadora hidráulica. Como este brazo no debe aplicarse por debajo de 60 cm de la parte superior del muro, las partes muy altas se derriban manualmente. Los empujadores más recientes tienen un alcance de unos 14 m.

También se puede demoler una estructura o parte de la misma engancho a ella uno o varios cables metálicos, de los cuales se tira por medio de un tractor oruga o con un torno firmemente sujeto al suelo. Con este procedimiento se pueden derribar gran variedad de estructuras como muros de ladrillo o mampostería y pilares de acero o mástiles.

2.1.2 Hundimiento provocado

En ciertas circunstancias, donde la estructura está suficientemente separada de los edificios vecinos y donde la estructura tiene una construcción adecuada, se puede demoler un edificio destruyendo las partes fundamentales de su estructura, a fin de que se produzca el hundimiento por su propio peso. Como todos los procedimientos de demolición anteriormente mencionados, éste es potencialmente muy peligroso y debe llevarse a cabo

con cuidado y bajo la supervisión de un experto.

En las estructuras de acero se puede producir el hundimiento debilitando los elementos de soporte y utilizando posteriormente un tirante de acero que provoque el comienzo de ese hundimiento. Los soportes pueden ser debilitados por un proceso de reacción exotérmica alrededor de las vigas o columnas. Para lograr este efecto se coloca una mezcla de un óxido metálico mezclado con un agente reductor y se aplica una corriente eléctrica; de esta forma, por reacción, se genera una temperatura muy alta que hace que el acero se ablande y adquiera un estado plástico; entonces sólo se necesita una pequeña fuerza para que la estructura se hunda.

Otra forma de producir una reacción térmica para cortar acero y hormigón es el empleo de la lanza térmica, que consiste en un largo tubo de acero relleno de varillas del mismo material; uno de los extremos del tubo se calienta y se hace pasar oxígeno a través de él, de forma que reacciona con el acero en el extremo calentado y da lugar a una llama de elevada temperatura. El mayor inconveniente es que la lanza se quema muy rápidamente, por lo que el operario que se va acercando a la zona de corte debe ir protegido con ropas y gafas especiales. Este procedimiento suele ser muy efectivo, por lo que actualmente es muy común en los trabajos de demolición.(Huete, Ricardo 1985)

2.1.3 Demolición con explosivos

Uno de los medios más eficaces para producir el hundimiento de una estructura es la utilización de explosivos. Las cargas del material que se va a hacer explotar son situadas en lugares de la base o diferentes niveles de la estructura cuidadosamente seleccionados según sea el caso para que cuando se produzca la voladura, el edificio se hunda hacia el interior o se precipite hacia un lado despejado. (Manual de explosivos y demoliciones. 1996). Las cargas se suelen hacer detonar mediante una corriente eléctrica, o por medios pirotécnicos, pero existe el riesgo en el primer caso de que los detonadores eléctricos se disparen por sí solos debido a señales eléctricas extrañas como las debidas a una estación de radio cercana o una tormenta con aparato eléctrico, por lo que a menudo se emplean detonadores con espoletas de seguridad. También se utilizan explosivos para ayudar a la demolición de grandes cimentaciones de hormigón o de chimeneas de antiguas fábricas.

2.1.4 Barrenos de Expansión

En aquellos casos en que es necesario romper grandes bloques de hormigón o mampostería, pero no es posible usar explosivos, otro recurso son los barrenos de expansión de gases o hidráulicos. El barreno de expansión de gas consiste en un cilindro de acero perforado, relleno de una mezcla química que se vaporiza y expande al ser encendida por medios eléctricos. Este barreno se coloca en un agujero hecho en el hormigón, el cual es roto por la enorme fuerza que ejercen los gases expandidos al quemarse la mezcla. Los barrenos hidráulicos también rompen el hormigón por expansión, pero en este caso la fuerza es ejercida por pistones situados radialmente en torno a un cilindro de acero, que se desplazan hacia fuera por una presión hidráulica.

2.2 DISEÑO TRADICIONAL DE UNA DEMOLICIÓN CON EXPLOSIVOS

El derribo de una estructura con explosivos es uno de los sistemas más rápidos, seguros y eficientes que pueden emplearse en la actualidad, pero necesita de un análisis y estudio complejo de las voladuras, donde es necesario contemplar el diseño y funcionamiento de las mismas en función de las características de resistencia de los materiales, características geométricas de las partes que las constituyen, la consecuencia de la rotura de los elementos portantes, las acciones de tensionamiento y volcamiento deben estar previstas, la dirección de caída esperada, entre otras.

No siempre se dispone de la información que se requiere en cuanto a la estructura, pues si se trata de construcciones antiguas, suele carecer de planos y se desconocen las calidades de los materiales empleados. Por todo ello, se debe realizar un trabajo previo de reconocimiento y estudio de las estructuras que se van a demoler realizando perforaciones, derribamiento parcial de placas y elemento no estructurales para establecer las partes débiles y fuertes de la estructura. Seguidamente se deben efectuar un conjunto de trabajos complementarios tales como:

- Sujeciones de elementos estructurales.
- Descalces.
- Uniones con cables o pernos en sitios debilitados. Los cuales ayudarán al éxito de la demolición haciendo que la estructura sea más estable y adecuada para el procedimiento de demolición.

2.2.1 Edificios de hormigón armado.

La demolición debe estar precedida de unos trabajos preparatorios que consisten en la eliminación parcial de tabiques interiores y descubrimiento de los elementos que se demolerán, abriendo dilataciones en los tabiques de

ladrillo adyacentes. Cuando la estructura por demoler es demasiado compleja y se encuentra junto a otras estructuras que no deban afectarse, es necesario realizar un estudio detallado de la estática de la construcción y diseño de las voladuras de acuerdo al caso.

Los dos tipos de demolición más empleados son :

- Voladura en una dirección ó caída controlada
- Voladura con desplome.

En el caso específico de los edificios mixtos los cuales están construidos con columnas, vigas de hormigón armado y muros de carga de mampostería, es necesario perforar todos los elementos según el método de caída en una dirección.

Después de haber realizado todos los procedimientos de reconocimiento de la estructura y sus alrededores, debe comenzarse la labor de cálculo, en la cual se contemplan aspectos como el tipo de material, posicionamiento de las cargas explosivas, dimensiones de los elementos que se van a demoler, cantidades de carga y distancia de seguridad entre otras.

De acuerdo con esto es necesario determinar que tipo de material constituye los elementos para así poder referirse a la tabla de factor material, donde de acuerdo a cada tipo de material y sus radios de ruptura, es decir el espesor del elemento por romper, se obtiene un factor que es necesario para calcular la cantidad de explosivo necesario para desarrollar la demolición de la estructura.(ver cuadros 1 y 2)

Seguidamente se debe observar el valor de apisonamiento (ver cuadro 3) el cual sirve para saber de acuerdo con el caso el valor de la variable (C), que depende de como se coloque la carga con respecto al elemento y si a su vez la carga se encuentra cubierta ya sea por material sólido o líquido.

Cuadro 1. Factor del material

Material	Radio de ruptura (R). (unidades en metros)	K
Tierra común	Todos los valores	1.12
Mampostería débil, Esquisto, tosca: Buena construcción de madera y tierra	menos de 1.5 m	5.13
	1.5 m ó más	4.64
Buena mampostería Hormigón común Roca	0.3 m ó menos	14.09
	Mas de 0.3 m a menos de 1.0 m	7.69
	1.0 m a menos de 1.5 m	6.41
	1.5 m a menos de 2.0 m	5.13
	2.0 m ó más	4.32
Hormigón denso Mampostería de primera clase	0.3 m ó menos	18.26
	Mas de 0.3 m a menos de 1.0 m	9.93
	1.0 m a menos de 1.5 m	8.33
	1.5 m a menos de 2.0 m	6.57
	2.0 m ó más	5.61
Hormigón reforzado	0.3 m ó menos	28.19
	Mas de 0.3 m a menos de 1.0 m	15.38
	1.0 m a menos de 1.5 m	12.81
	1.5 m a menos de 2.0 m	10.09
	2.0 m ó más	8.65

Fuente: Conferencias de clase Ing. Edgard Cañas L.

Para efectos prácticos en la demolición se recomienda ubicar la carga en el centro del elemento de tal forma que el radio de ruptura sea igual al radio del elemento.

Cuadro 2. Factor del material

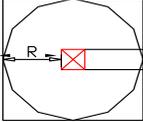
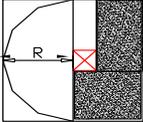
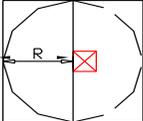
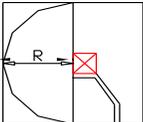
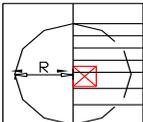
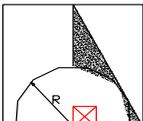
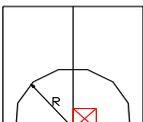
Material	Radio de ruptura (R). (unidades en pies)	K
Tierra común	Todos los valores	0.07
Mampostería débil, Esquisto, tosca: Buena construcción de madera y tierra	Menos de 5 pies	0.32
	5 pies o más	0.29
Buena mampostería Hormigón común Roca	1 pie o menos	0.88
	1.5 a 2.5 pies	0.48
	3.0 a 4.5 pies	0.40
	5.0 a 6.5 pies	0.32
	7 pies o más	0.27
Hormigón denso Mampostería de primera clase	1 pie o menos	1.14
	1.5 a 2.5 pies	0.62
	3.0 a 4.5 pies	0.52
	5.0 a 6.5 pies	0.41
	7 pies o más	0.35
Hormigón reforzado	1 pie o menos	1.76
	1.5 a 2.5 pies	0.96
	3.0 a 4.5 pies	0.80
	5.0 a 6.5 pies	0.63
	7 pies o más	0.54

Fuente: Conferencias de clase Ing. Edgard Cañas L.

Después de obtener los valores de coeficiente del material (K) y factor de apisonamiento (C), que en el caso de las estructuras que va a manejar el programa siempre C, será para la mayoría de los casos 1.0 debido a que las cargas siempre se ubicarán en el centro del elemento a demoler ya sea viga, columna o muro, se procede a calcular la cantidad de carga con las ecuaciones diseñadas para tal fin, dichas ecuaciones involucran otros factores propios de la estructura, el desarrollo de la voladura y el tipo de explosivo, a continuación se enumeran dichas ecuaciones presentando sus

variables.

Cuadro 3. Factor de apisonamiento

	CARGA UBICADA EN EL CENTRO DE LA MASA FACTOR DE APISONAMIENTO C = 1.0
	RELLENO ATACADO O APISONADO FACTOR DE APISONAMIENTO C = 1.0
	TOTALMENTE CUBIERTA CON AGUA FACTOR DE APISONAMIENTO C = 1.0
	SIN APISONAMIENTO FACTOR DE APISONAMIENTO C = 1.8
	PARCIALMENTE CUBIERTA CON AGUA FACTOR DE APISONAMIENTO C = 2.0
	APISONADO CON TIERRA FACTOR DE APISONAMIENTO C = 2.0
	SIN APISONAR FACTOR DE APISONAMIENTO C = 3.6

Fuente: Conferencias de clase Ing. Edgard Cañas L.

Ecuación por cargas de ruptura.

$$Q_{\text{exp.}} = 0.526 \times R^3 \times K \times C$$

Donde:

Q_{exp} : Es la cantidad de explosivo por barreno.

0.526: Constante experimental hallada por estudiantes de la UMNG, en el trabajo de grado AJUSTE DE FÓRMULAS EXTRANJERAS EN CÁLCULOS DE EXPLOSIVOS FABRICADOS EN COLOMBIA PARA RUPTURA DE CONCRETO. GUERRA Juan Carlos, ROMERO Rafael (1998).

R : Radio de ruptura correspondiente a 1/3 de la dimensión del elemento.

K : Factor del material.

El radio de ruptura R, se define como la distancia que va a romper por el explosivo es decir:

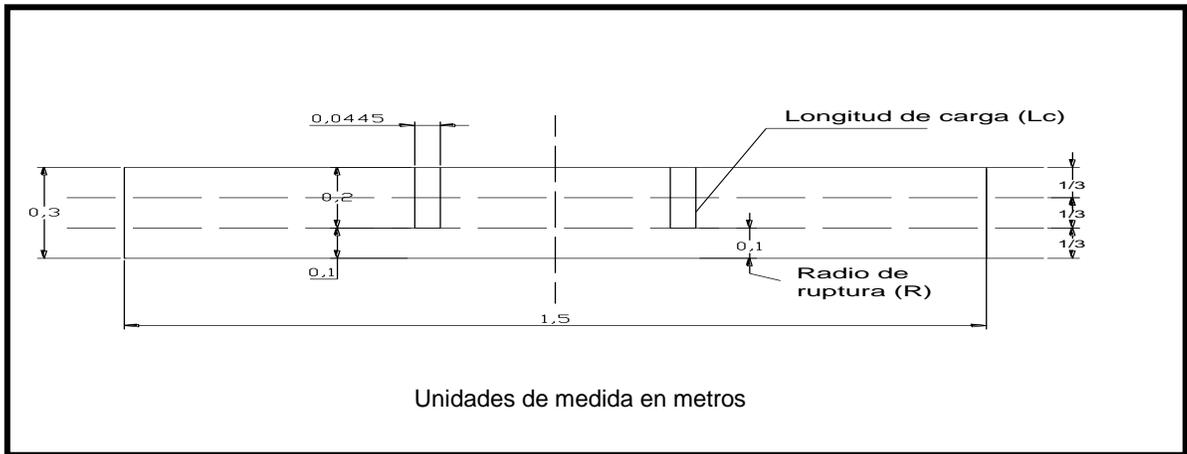


Figura 1. Diagrama de viga perforada.

Observando el diagrama anterior se puede determinar el proceso de barrenación para la colocación de cargas el cual consiste en perforar dos terceras partes del elemento dejando 1/3 sin perforar, distancia que corresponde al radio de ruptura.

Las dimensiones de los elementos se obtienen por medio de los planos estructurales de la edificación donde deben estar especificadas las medidas de todos los elementos estructurales, en caso de no ser así se deben realizar las medidas de los elementos en las tareas de reconocimiento.

Ecuación por longitud de carga.

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times \rho \times L_c}{40}$$

Donde:

π : Constante matemática (3.141592653589)

\varnothing : Diámetro de perforación para el cálculo es igual $1^{3/4}$ de pulgada.

ρ : Densidad del explosivo para el indugel es igual a 1.25 gr/cm³.

L_c : Longitud de Carga.

En esta ecuación se introducen tres nuevos valores, los cuales permiten calcular la cantidad de carga por barreno teniendo en cuenta el diámetro del barreno y la densidad del explosivo. Esto hace que la cantidad de explosivo que se calcula con esta ecuación sirve para rellenar por completo el tercio medio del elemento, al contrario de la ecuación por carga de ruptura la cual calcula una carga óptima para romper el elemento, pero es posible que dicha

cantidad en algunos casos sea un poco insegura desde el punto de vista que es muy exacta y no precisa un factor de seguridad tangible.

El margen de diferencia entre el cálculo de carga de una y otra ecuación es considerable por eso se recomienda consultar con los expertos cual es la cantidad óptima de explosivo según sea el caso, basándose en el programa y los cálculos

2.2.2. Barrenos

Los barrenos son orificios que se realizan por medio de equipos neumáticos como los taladros roto-percutores lo cuales son de fácil manejo y rendimiento en cuanto a trabajos de barrenación en estructuras se refiere. La función de estos orificios es la de poder ubicar la carga explosiva en el centro geométrico del elemento, es decir, que la perforación de los elementos se debe realizar en los dos tercios del lado de la columna, viga o muro dejando un tercio sin perforar lo que se denomina radio de ruptura. El diámetro utilizado en la mayoría de los casos es de $1 \frac{3}{4}$ de pulgada que corresponde a un diámetro de 4.45 centímetros debido a que el cartucho de indugel viene con diámetros de 26,32,38 y 44 mm. En la demolición de estructuras se acostumbra a utilizar el cartucho de 32 x 500 mm por su tamaño debido a que entra libremente en los barrenos.

Los barrenos se deben realizar en el mismo sentido en el que se va a derrumbar la estructura (caída controlada) o el elemento.

La distancia de atacadura es una longitud que se rellena de un material aglutinante como arcilla, arena mojada, etc; el cual tiene como función sellar el barreno y por consiguiente confinar la carga explosiva, para que al producirse la detonación, la potencia del explosivo no se escape por el

barreno, haciendo que el elemento no se destruya según los cálculos.

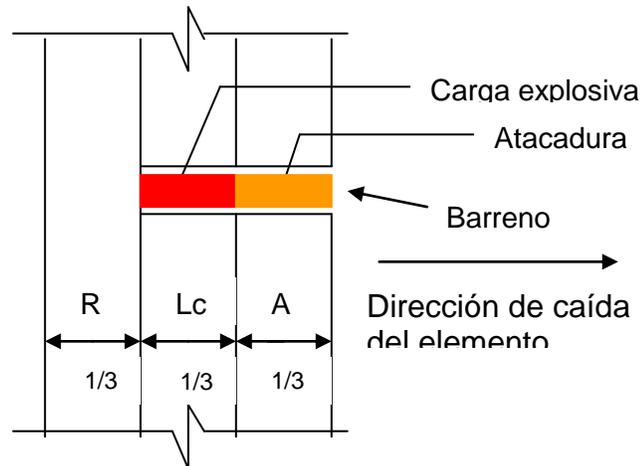


Figura 2. Diagrama de un barreno.

2.2.3 Vigas

Existen varias consideraciones necesarias para realizar los barrenos en los diferentes elementos de la estructura como son las vigas, columnas y muros. Las vigas se deben perforar desde el centro hacia los lados entre columna y columna de tal forma que las cargas queden distribuidas en la luz media del de la viga. Se realizan dos barrenos separados a 15 cm del centro.

Los barrenos se deben realizar como en el procedimiento para perforar columnas, es decir, se perforan los $2/3$ de la altura del elemento para ubicar la carga en la parte central y así garantizar que el elemento se fracture en el centro y así demolerlo.

A continuación se presenta el esquema para barrenación de vigas.

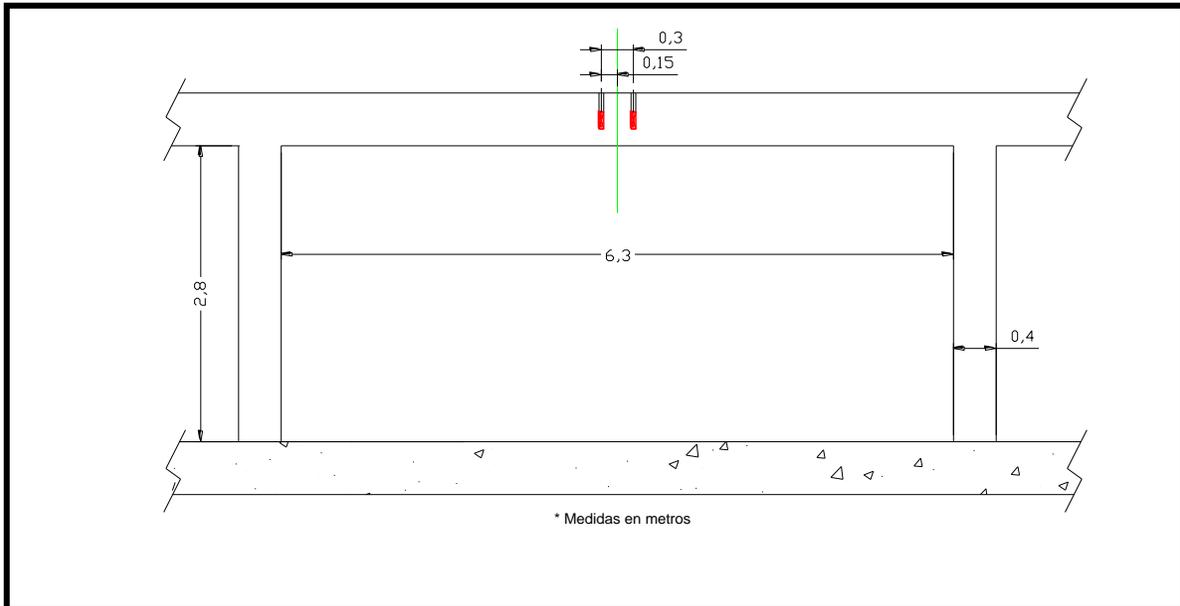


Figura 3. Barrenación en vigas

2.2.4 Columnas

En el caso de las columnas existe una clasificación la cual sirve para hacer el esquema de perforación es decir el posicionamiento de los barrenos de acuerdo al ancho de la cara que se perforará. La clasificación consiste en determinar si la cara de la columna tiene una distancia menor o igual a cuarenta centímetros (Ver figura 4 A); y si mide más de cuarenta centímetros. En el primer caso se procede a realizar una marca por el centro de la columna en forma vertical separando los barrenos 40 centímetros entre si y sobre dicha línea se realizan las perforaciones en caso de ser mayor de cuarenta centímetros se realizan los barrenos en forma de zig-zag por ejemplo si se perfora una columna de 60 centímetros, se comienza por el lado izquierdo perforando a 1/3 es decir 20 centímetros dejando 2/3 hacia el

otro lado (40 cm) luego en el siguiente barreno 40 centímetros abajo se dejan 2/3 al lado izquierdo (40 cm) y 1/3 es decir 20 cm al otro lado.

La zona de perforación corresponde a 1.5 metros de la parte central de la altura total de la columna es decir que de la mitad de la columna a la parte superior se mide 0.75 metros y de el medio a la parte inferior se miden otros 0.75 metros. Estos 1.5 metros se divide entre 0.4 metros para hallar el número de barrenos, el cual da como resultado 3.7 barrenos valor que se aproxima al valor cerrado siguiente es decir 4 barrenos separados cada 0.4 metros ó 40 centímetros. (Ver figura 4 B)

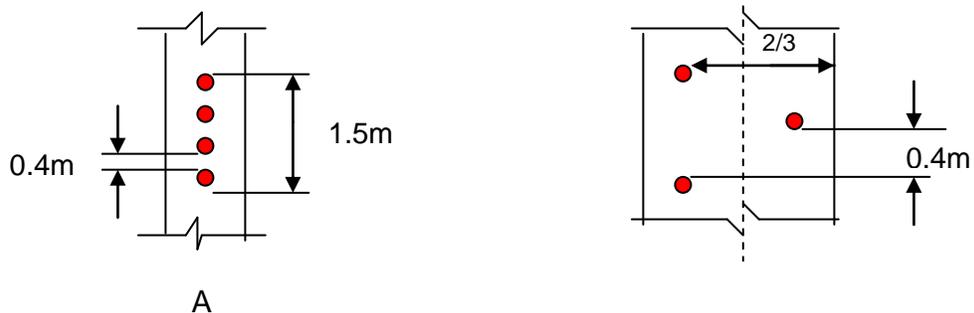


Figura 4. Columnas.

2.2.5 Muros

Dentro de los elementos necesarios por demoler, se encuentran los muros estructurales que cumplen le labor de rigidizar y sostener la estructura, por lo tanto son elemento de dimensiones y resistencia considerable, por lo que se hace necesario diseñar una malla de voladura especial dependiendo del caso.

Para poder demoler los muro es necesario realizar ciertos trabajo previos para aislar el muro del pórtico con el fin de hacerlo trabajar como un elemento independiente del pórtico. Para lograr este objetivo es necesario

hacer dilataciones ente las columnas y el muro, de tal forma que el muro pierda resistencia y no pueda transmitir los esfuerzos a otros elementos. Básicamente la distribución de los barrenos y la perforación dependen del espesor del muro y por supuesto del material con el cual está construido.

Cuadro 2.4 Esquemas de perforación para muros

MATERIAL	ESPESOR (cm)	LONGITUD DE PERFORACIÓN (cm)	ESQUEMA B x S (cm)	CONSUMO ESPECIFICO (Kg. / m)
Hormigón	30	20	30 x 30	0.3 – 0.5
	40	25	40 x 40	0.3 – 0.5
	50	35	50 x 50	0.3 – 0.5
Hormigón armado	30	20	20 x 20	0.5 – 0.7
	40	30	30 x 30	0.5 – 0.7
	50	40	35 x 35	0.5 – 0.7

En el cuadro anterior se presentan los datos necesario para realizar la malla de voladura donde B, es la distancia vertical entre barrenos y S, la distancia horizontal entre barrenos.

2.3 VOLADURA DE CAÍDA CONTROLADA

El procedimiento llamado voladura de caída controlada, es un método el cual consiste en poder inclinar la estructura hacia un lado predefinido haciendo detonar las cargas de tal forma que el propio peso de la estructura ayude a volcar el edificio hacia el lado deseado es decir , el procedimiento es similar al de cortar un árbol realizando un corte en forma triangular en la base de tal forma que el centro de gravedad se desequilibre y cause la caída de la estructura. En el siguiente gráfico (figura 5.), se pude observar dicho procedimiento, en el cual intervienen los tiempos de retardo.

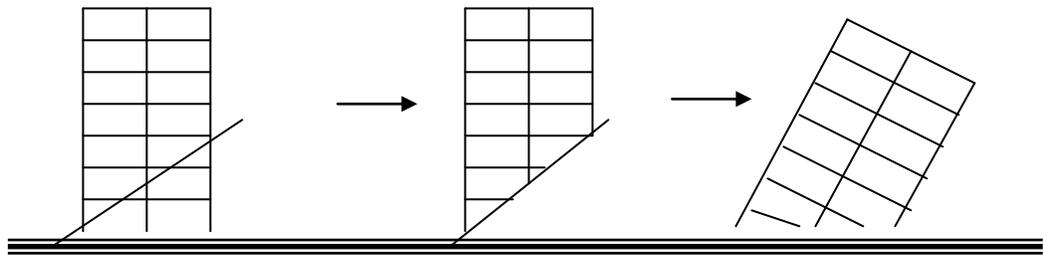


Figura 5. Caída controlada

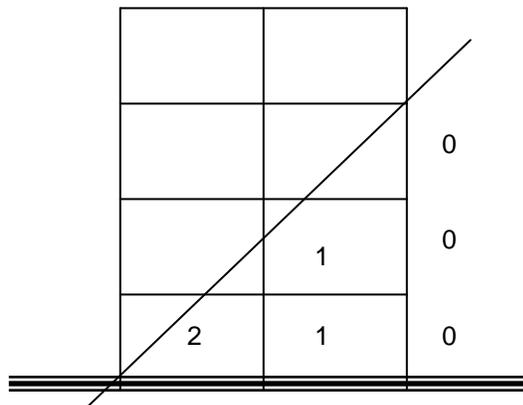


Figura 6. Tiempos de retardo

En la figura 6, se muestra la ubicación de los tiempos de retardo que tienen como función hacer que las cargas detonen de acuerdo con su número es decir que las cargas mostradas con el número cero o mejor tiempo cero son las cargas que detonan primero, luego detonan las de número uno y así sucesivamente hasta cumplir con todos los tiempos de retardo.

La manera más conveniente de realizar la demolición de un edificio por este método es determinando su altura, por lo general se deben cargar los tres o cuatro primeros pisos como se muestra en la figura 6; Si sobre estos existen más de 8 pisos se debe cargar el piso medio entre estos. Por ejemplo si el edificio tiene 15 pisos, se cargan los cuatro primeros, quedando 12 pisos sin cargar, por lo tanto se debe cargar el piso número 10 por ser el piso intermedio.

2.3.1 Ejemplo de voladura de caída controlada

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo para la demolición de un edificio de once pisos y dos niveles de sótano que corresponde al centro administrativo de la Universidad Nacional el cual está fabricado con hormigón armado y mampostería corriente.

En la siguiente figura (figura 7), se puede observar la distribución de los elementos estructurales los cuales se repiten en cada uno de los pisos. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede realizar la plantilla de voladura con un piso tipo de la construcción, en el caso de existir cambios de los elementos en los diferentes pisos se debe especificar mediante planos los pisos en los cuales existen cambios de tamaño, material y/o distribución, los cuales pueden ocasionar cambios y reacciones inesperadas de la estructura cuando se realice la demolición. También es necesario numerar o marcar cada elemento para una mayor facilidad en la ubicación de cada elemento.

El edificio posee 21 columnas con una altura libre constante de 2.8 metros y secciones que varían entre los diferentes ejes, posee además dos espacios para ascensores y una escalera.

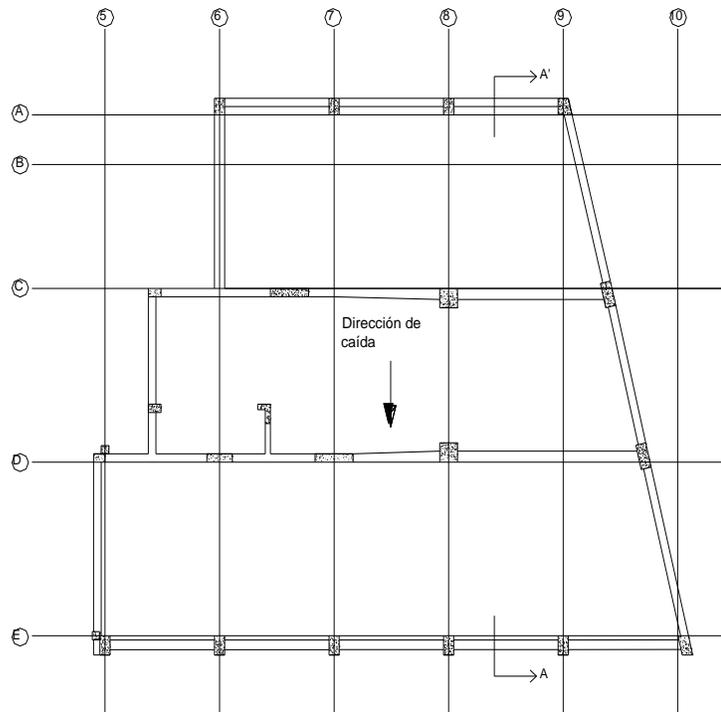


Figura 7. Piso tipo, primera planta (nivel 1)

Se quiere diseñar una plantilla de voladura para hacer caer el edificio sobre el parqueadero el cual tiene una gran extensión permitiendo así la caída de la estructura sin riesgo de daños y/o accidentes.

Para el ejemplo de cálculo se tomó la columna de la intersección de los ejes A y 6 (columna 18), la cual tiene unas dimensiones de 35 x 60 cm, la perforación del elemento se hizo por la cara de 35 cm, perforando 40 cm (2/3 de la longitud), con un diámetro de $1 \frac{3}{4}$ de pulgada (4.45cm), la longitud para perforar se tomó de 1.5 metros en la parte central de la columna donde se hicieron 4 barrenos separados 0.4 m en forma vertical. (Figura 8)

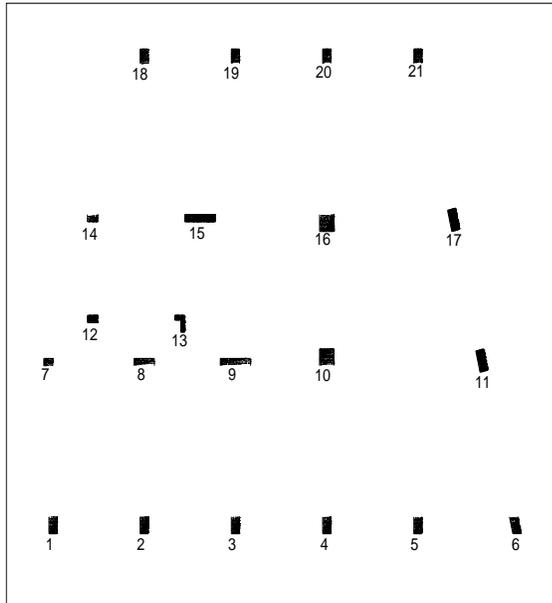


Figura 8. Ubicación de las columnas

Teniendo los datos del material, posición de la carga y radio de ruptura se puede calcular con la ecuación por carga de ruptura. A continuación se aplican los datos obtenidos a la ecuación.

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times R^3 \times K \times C$$

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times (0.20 \text{ m})^3 \times 28.19 \times 1.0 = 0.119 \text{ Kg. / barreno}$$

La cantidad de explosivo por columna es:

- $Q_{\text{exp}} \times \# \text{ de barrenos}$
- $Q_{\text{total col}} = 0.119 \text{ Kg.} \times 5 = 0.595 \text{ Kg. / columna} = 595.0 \text{ gr./ columna}$

Los 595.0 gramos son la cantidad de explosivo necesaria para poder

demoler una columna de 35 x 60 centímetros, construida en hormigón reforzado y con un radio de ruptura igual a 20 centímetros.

Si se calcula la misma columna con la ecuación por longitud de carga se tiene:

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times \rho \times Lc}{40}$$

Entonces :

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times (4.45 \text{ cm})^2 \times 1.25\text{g/cm}^3 \times 0.20 \text{ m}}{40}$$

$$Q_{\text{exp.}} = 0.389 \text{ Kg. / barreno}$$

$$Q_{\text{total col}} = 0.389 \text{ Kg.} \times 5 \text{ barrenos} = 1.945 \text{ Kg. /columna} = 1945.0 \text{ gr /columna}$$

La diferencia entre los dos resultados se debe a que la ecuación de longitud de carga, calcula la carga exacta para un radio (R) de 20 centímetros, en cambio la ecuación de carga de ruptura permite conocer la cantidad de explosivo para llenar la longitud de carga (20 cm). Por lo tanto en cuanto a seguridad para demoler un elemento la ecuación 2 es más aconsejable pero menos económica. En las tablas 5,6,7 y 8 se pueden observar los cálculos de las columnas en cada nivel cargado.

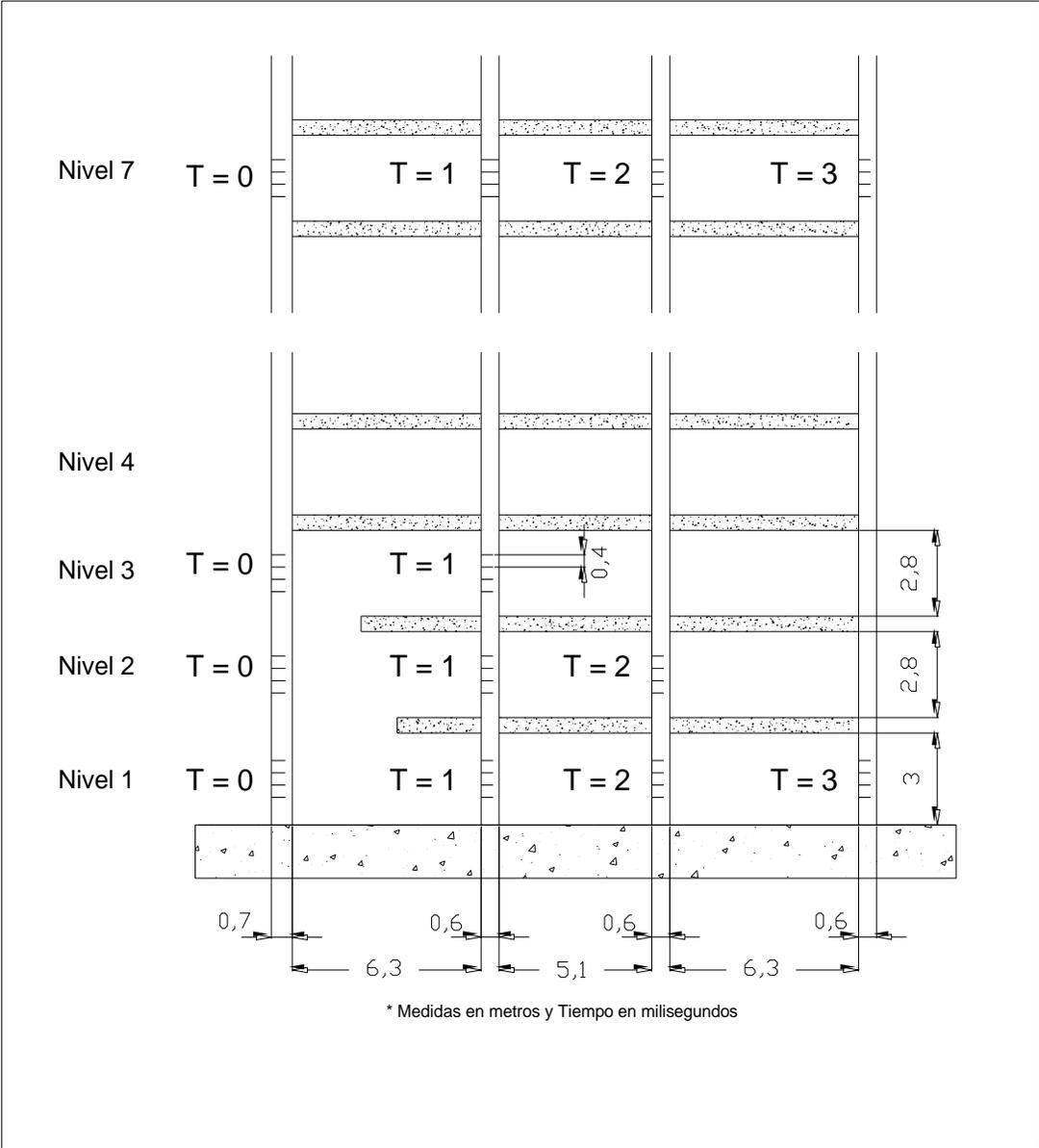


Figura 10. Colocación de cargas y tiempos de retardo (corte A - A')

Para este ejemplo en particular se tomó la viga número uno (1) entre los ejes E y D y sobre el eje 5. La viga tiene 0.30 m de ancho por 0.45 m de altura,

una longitud de 6.6 m entre ejes y está fabricada en concreto reforzado de iguales características al utilizado en las columnas.

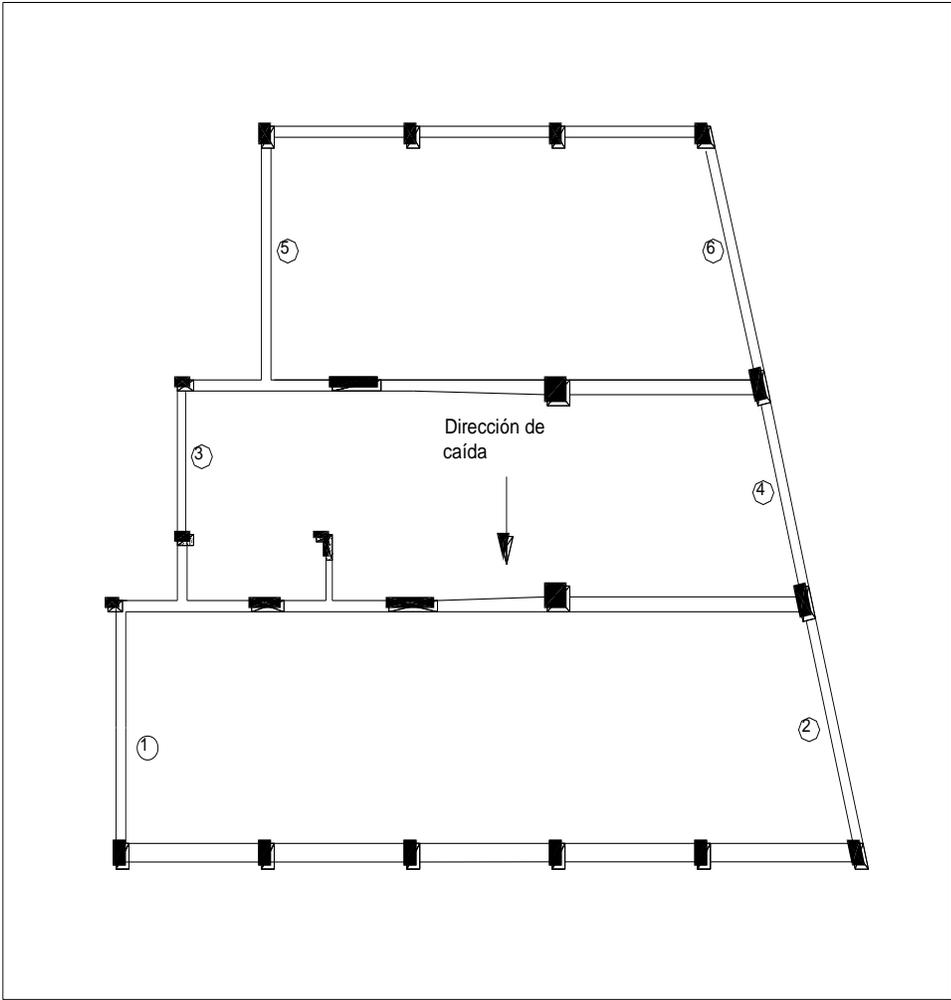


Figura 11. Distribución de vigas.

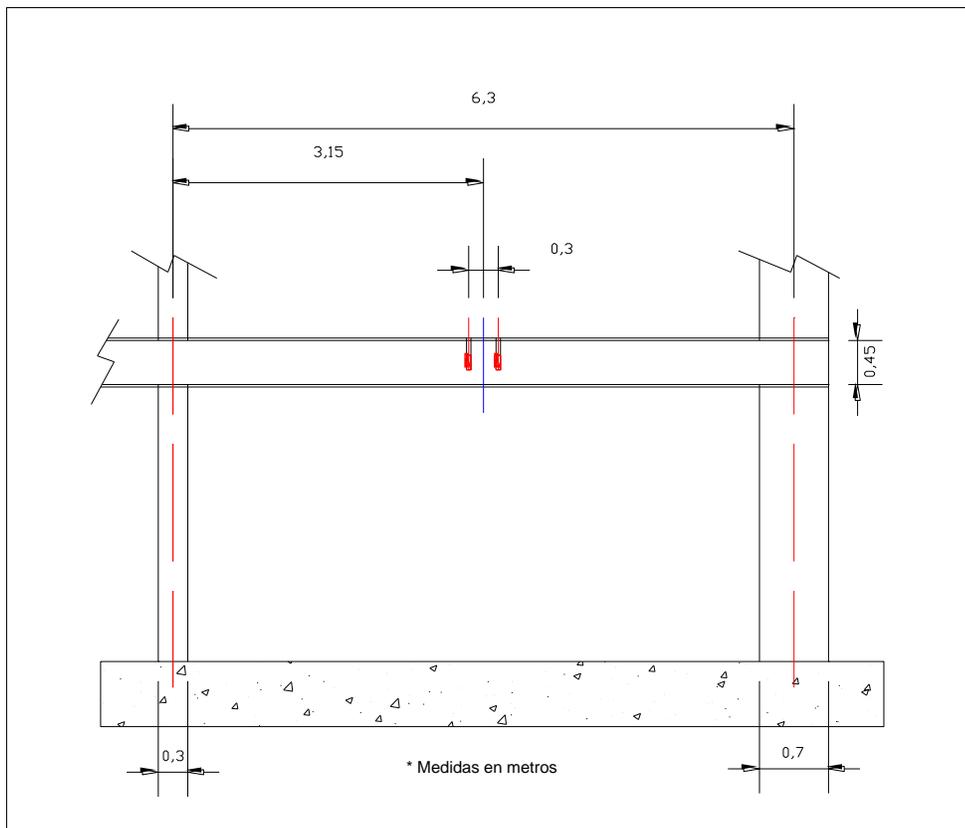


Figura 12. Diagrama de carga para la viga 1.

Calculando con la ecuación por carga de ruptura los datos obtenidos son:

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times R^3 \times K \times C$$

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times (0.15 \text{ m})^3 \times 28.19 \times 1.0 = 0.0500 \text{ Kg. / barreno}$$

La cantidad de explosivo para la viga es:

- $Q_{\text{exp}} \times \# \text{ de barrenos}$
- $Q_{\text{total viga}} = 0.0500 \text{ Kg.} \times 2 = 0.10 \text{ Kg. / viga} = 100.0 \text{ gr./ viga}$

Los 100 gramos es la cantidad de explosivo necesaria para poder demoler la viga de 30 x 45 centímetros, construida en concreto reforzado y con un radio de ruptura igual a 15 centímetros.

Si se calcula la misma viga con la ecuación por longitud de carga por medio de la cual se obtiene:

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times \rho \times Lc}{40}$$

Entonces :

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times (4.45 \text{ cm})^2 \times 1.25\text{g/cm}^3 \times 0.15 \text{ m}}{40}$$

$$Q_{\text{exp.}} = 0.292 \text{ Kg. / barreno}$$

$$Q_{\text{total viga}} = 0.292 \text{ Kg.} \times 2 \text{ barrenos} = 0.584 \text{ Kg. /viga} = 584.0 \text{ gr /viga}$$

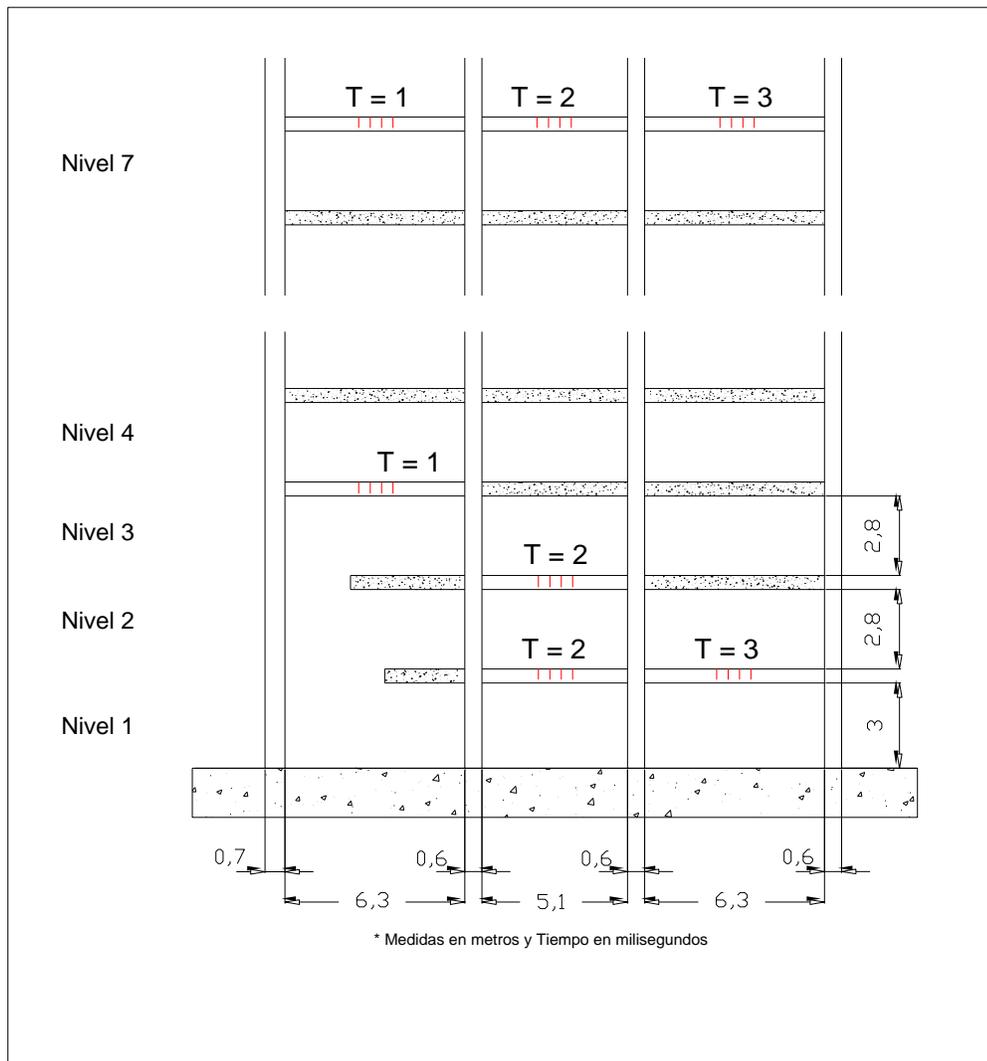


Figura 13. Tiempos de tardo para las vigas

Para conocer el resto de los cálculos para las vigas ver las tablas 9, 10, 11, y 12.

Ahora bien, teniendo la cantidad de barrenos para el edificio el siguiente paso es la colocación de los detonadores no eléctricos ó también llamados detonadores nonel (capítulo 1). Se debe colocar un detonador por carga o por barreno con el fin de iniciar el explosivo (figura 14). Estos detonadores a

su vez están conectados a una red de cordón detonante de 3 gr. / m, el cual es el más adecuado para realizar trabajos de demolición en estructuras.

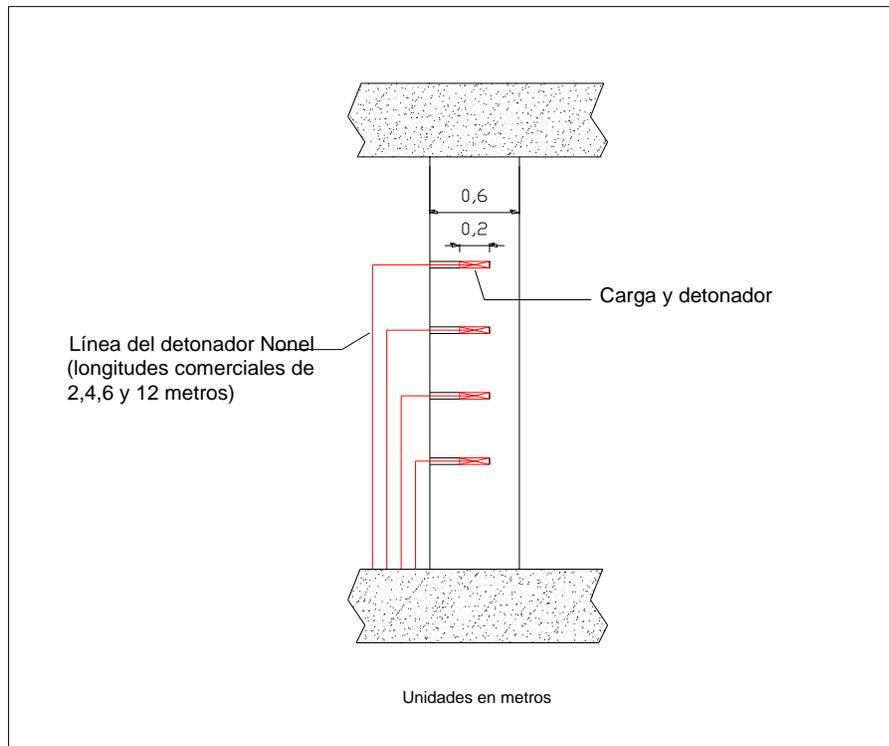


Figura 14. Colocación de detonadores y cargas

Como se muestra en la figura 15, el cordón detonante se puede extender por el piso de forma tal que se puedan conectar todas las cargas mediante líneas centrales de cordón detonante, dichas conexiones se deben realizar a 90° ente sí con el fin de que al detonar el cordón las líneas no se corten, otra consideración importante es la de no permitir el cruce de líneas porque estas se pueden romper por efectos de la explosión del cordón. También es recomendable encender todo el sistema de mallas de voladura del edificio desde un solo sitio, y no nivel por nivel.

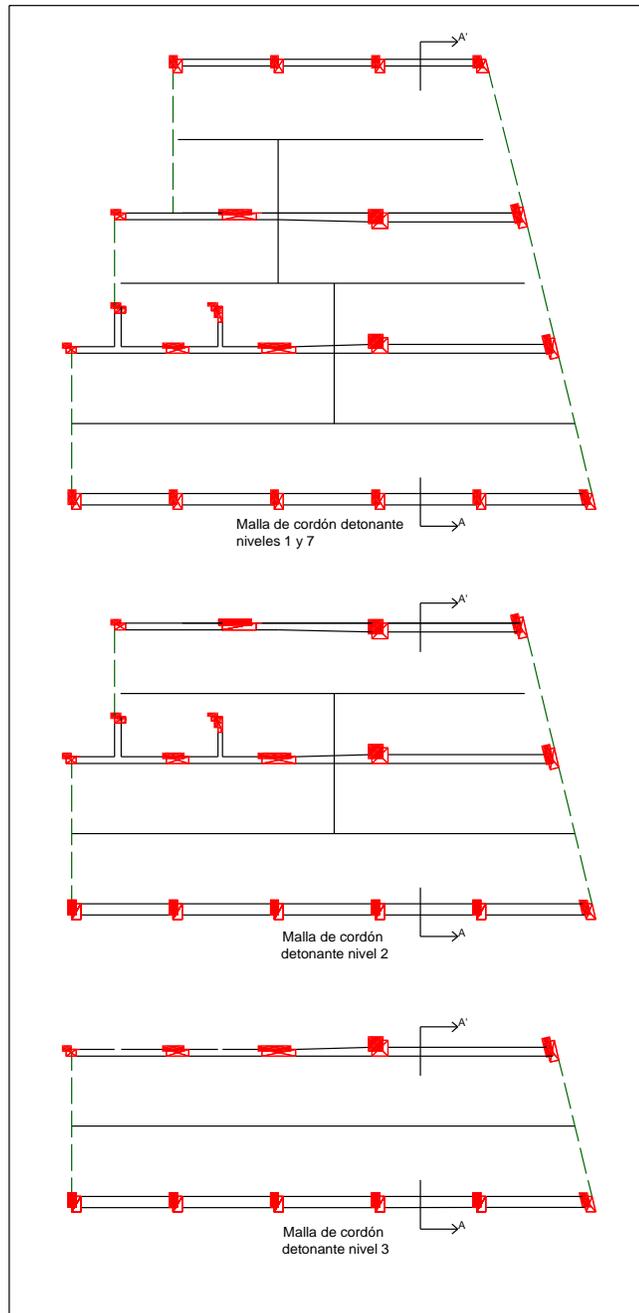


Figura 15. Líneas de cordón detonante por niveles.

En la figura 15, se observa como puede ser la forma ideal de la malla de

cordón detonante para cada uno de los niveles cargados del edificio, de acuerdo con esta distribución la cantidad total de cordón sería igual a:

- Cordón detonante de las columnas: 0 m, el detonador se conecta la línea de piso directamente.
- Cordón de las vigas: 0 m, el detonador se conecta la línea de piso directamente.
- Cordón malla de piso: Líneas centrales a las que se unen las líneas de los detonadores nonel.

Teniendo la cantidad de cordón de malla de piso por nivel se puede tener una cantidad muy aproximada de cordón detonante para unir las cargas del edificio .

Entonces:

Nivel 1 = 66.66 m

Nivel 2 = 46.63 m

Nivel 3 = 22.4 m

Nivel 7 = 66.66 m

Línea central de detonación (para unir las mallas de los niveles) = ± 24 m

Cantidad total de cordón detonante para el edificio = 226.35 m

Después de tener calculado todo lo correspondiente a las cantidad de explosivo, cordón, detonadores y retardo es necesario verificar otros factores como la distancia de seguridad, la vibración y el umbral de daños.

2.3.1 Distancia de seguridad

La distancia de seguridad es el cálculo como su nombre lo indica de la distancia que será necesario dejar alrededor de la estructura para evitar que las posibles proyecciones produzcan daños y/o accidentes. La distancia de seguridad es una medida perimetral la cual se calcula con la carga total.

Para efectos prácticos, es necesario aclarar que el resultado de dicha ecuación se reduce en un 85% debido a que los elementos cargados se confinan de tal manera que la proyecciones en caso de existir no alcanzarían máximo el 15% de la distancia hallada.

Para el ejemplo del edificio de la facultad de enfermería se puede realizar el siguiente cálculo con la cantidad de carga mayor (se tomó el valor hallado con la ecuación de longitud de carga):

$$D = 120 \sqrt[3]{\text{Kg.}}$$

$$D = 120 \sqrt[3]{143.73 \text{ kg}} = 628.58 \text{ m} \times 0.15 = 94.28 \text{ metros}$$

$$D = 94.28 \text{ metros}$$

2.4 VOLADURA CON DESPLOME

Este procedimiento es adecuado para las estructuras anchas y para cuando no existe el suficiente espacio para derrumbarlas hacia un lado, este método hace que la estructura colapse desde el centro a hacia afuera haciendo que la estructura caiga sobre si misma.

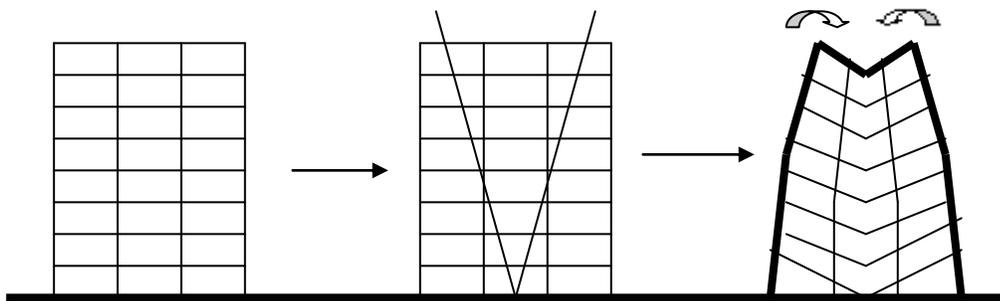


Figura 16. Voladura de desplome.

el procedimiento de cálculo de cantidad de explosivo es igual al del método de caída controlada, las variaciones se observan en la perforación y los tiempos de retardo.

En la anterior figura se muestra el concepto básico para realizar la demolición de la estructura, haciendo un corte en forma de V, comenzando de abajo hacia arriba, demoliendo los elementos centrales y abriendo hacia los extremos de la estructura.

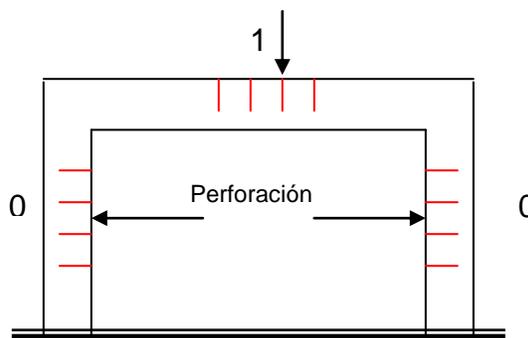


Figura 17. Tiempos de retardo.

Para realizar la perforación de los elemento se debe mirar la dirección en que se desee hacer caer el elemento por lo general se perfora del centro del edificio hacia afuera.

Para efectos de la demolición se realizan los mismos procedimientos utilizados en la demolición de caída controlada, es decir se debe hacer el reconocimiento de los elemento estructurales importantes, desconectar todas las acometidas de agua, electricidad, etc. En cuanto el proceso de cálculo es igual que el caso de la caída controlada, teniendo en cuentas la mismas variables y constantes, este método solo difiere en la colocación de los tiempos de la voladura.

2.4.1 Ejemplo de voladura con desplome

En este caso se va a realizar el cálculo de explosivo y otros elementos necesarios para demoler el edificio de apartamentos Córdoba, el cual tiene 14 pisos de altura, está construido con el sistema de pórticos en concreto, tiene mampostería corriente, la altura libre entre placas es de 2.3 metros, y tiene seis muros estructurales, dos en la parte central en donde se ubican los ,ascensores (27 y 28) y los otro cuatro en uno en cada torre (5,7,14 y 22).

En la figura 18, se muestra la ubicación de las columnas, la dirección de caída de los elementos y la dirección de la perforación o barrenación.

Para efectos de cálculo se tomará la columna número 6, la cual tiene una dimensiones de 0.9 metros por 0.3 metros. Una gran diferencia entre el ejercicio anterior y este, es que debido a la forma y dirección en que deben caer los elementos es necesario cargar también la vigas porque evitan el

desplazamiento de los elementos hacia el centro impidiendo que el edificio caiga en si mismo y por lo tanto en un área mucho más reducida.

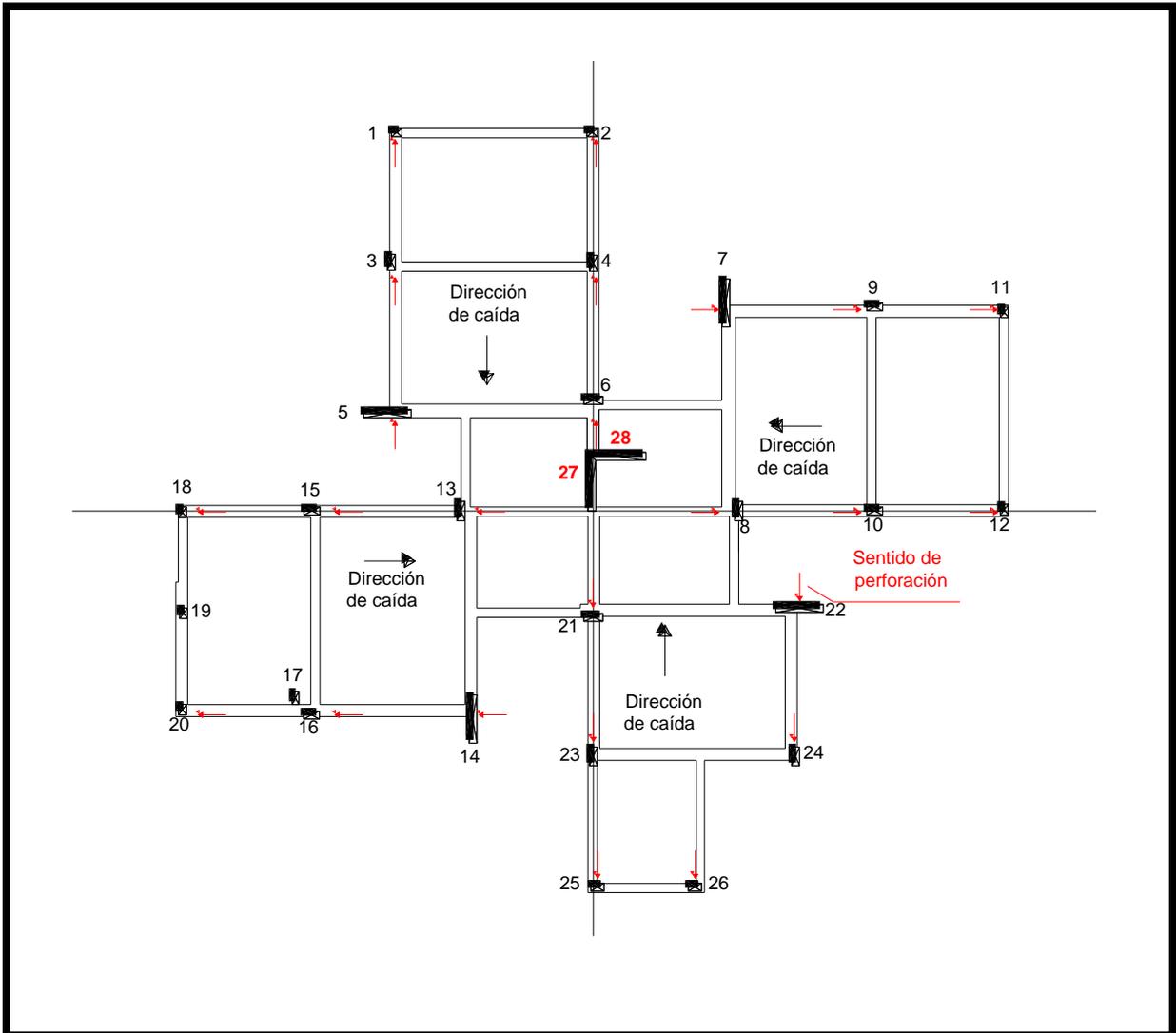


Figura 18. Planta tipo del edificio.

A continuación se presentan los cálculos de cantidad de explosivo para la columna 6.

Con la ecuación por carga de ruptura se tiene:

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times R^3 \times K \times C$$

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times (0.133 \text{ m})^3 \times 28.19 \text{ gr/m} \times 1.0 = 0.035 \text{ Kg. / barreno}$$

La cantidad de explosivo por columna es :

- $Q_{\text{exp}} \times \# \text{ de barrenos}$
- $Q_{\text{total col}} = 0.035 \text{ Kg.} \times 4 = 0.14 \text{ Kg. / columna} = 140.0 \text{ gr. / columna}$

Ahora si se calcula la columna 6 con la ecuación por longitud de carga se tiene:

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times \rho \times Lc}{40}$$

Entonces:

$$Q_{\text{exp.}} = \frac{\pi \times (4.45 \text{ cm})^2 \times 1.25 \text{ g/cm}^3 \times 0.133 \text{ cm}}{40}$$

$$Q_{\text{exp.}} = 0.259 \text{ Kg. / barreno}$$

$$Q_{\text{total col}} = 0.259 \text{ Kg.} \times 4 \text{ barrenos} = 1.036 \text{ Kg./columna} = 1036 \text{ gr. /columna}$$

Los cálculos de carga de las otras columnas se pueden observar en las tablas 13, 14, 15, 16 y 17.

el cálculo de cantidad de carga para los muros, se debe observar el cuadro 4 (esquemas de perforación para muros), de manera tal que teniendo la malla B x S, se calcula el número de barrenos y la cantidad de carga se calcula con las ecuaciones desarrolladas anteriormente.

Tomando como ejemplo el muro 5, el cual tiene 1.85 m de largo por 0.3 m de espesor y una altura libre entre pisos de 2.3 metros. Está construido en concreto reforzado; Observando el cuadro 4 se tiene:

MATERIAL	ESPESOR (cm)	LONGITUD DE PERFORACIÓN (cm)	ESQUEMA B x S (cm)	CONSUMO ESPECIFICO (Kg / m)
Hormigón armado	30	20	20 x 20	0.5 – 0.7
	40	30	30 x 30	0.5 – 0.7
	50	40	35 x 35	0.5 – 0.7

Gráficamente se observa de la siguiente forma:

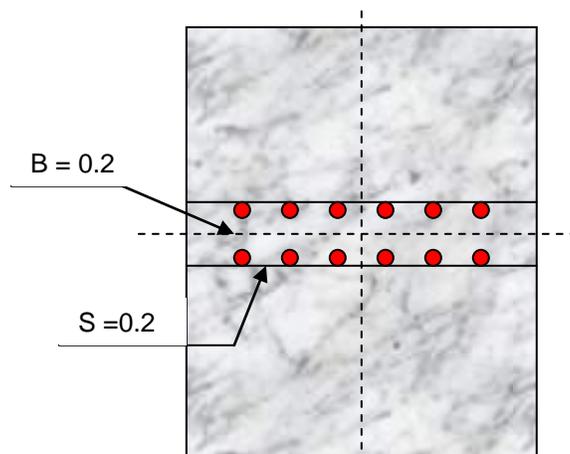


Figura 19. Diagrama de perforación para muros.

El procedimiento de cálculo para cargar todos los barrenos del muro es exactamente igual que el procedimiento utilizado en columnas y muros. Ahora con la ecuación por carga de ruptura se tiene:

$$Q_{\text{exp}} = 0.526 \times R^3 \times K \times C$$

$$Q_{\text{exp}} = 0.56 \times (0.10\text{m})^3 \times 28.19 \text{ gr. /m} \times 1.0 = 0.0158 \text{ Kg. / barreno}$$

La cantidad de explosivo por muro es :

- $Q_{\text{exp}} \times \#$ de barrenos

$$\# \text{ barrenos} = 1.85 / 0.2 = 9.2 = 9 \text{ bar} \times 2 \text{ filas} = 18 \text{ barrenos}$$

- $Q_{\text{total muro}} = 0.0148 \text{ Kg.} \times 18 = 0.227 \text{ Kg/ muro} = 227 \text{ gr./muro}$

Ahora si se calcula el muro con la ecuación por longitud de carga se tiene:

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times \rho \times Lc}{40}$$

Entonces:

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times (4.45 \text{ cm})^2 \times 1.25\text{g/cm}^3 \times 0.10 \text{ m}}{40}$$

$$Q_{\text{exp}} = 0.198 \text{ Kg. / barreno}$$

$$Q_{\text{total muro}} = 0.198 \text{ Kg.} \times 18 \text{ barrenos} = 3.564 \text{ Kg. /muro} = 3564 \text{ gr. / muro}$$

Ver cálculos de carga para los muros en la tabla 18.

El siguiente paso es cargar las vigas del edificio, en la figura 20, se observa la distribución y numeración asignada para las vigas en los niveles a ser cargados.

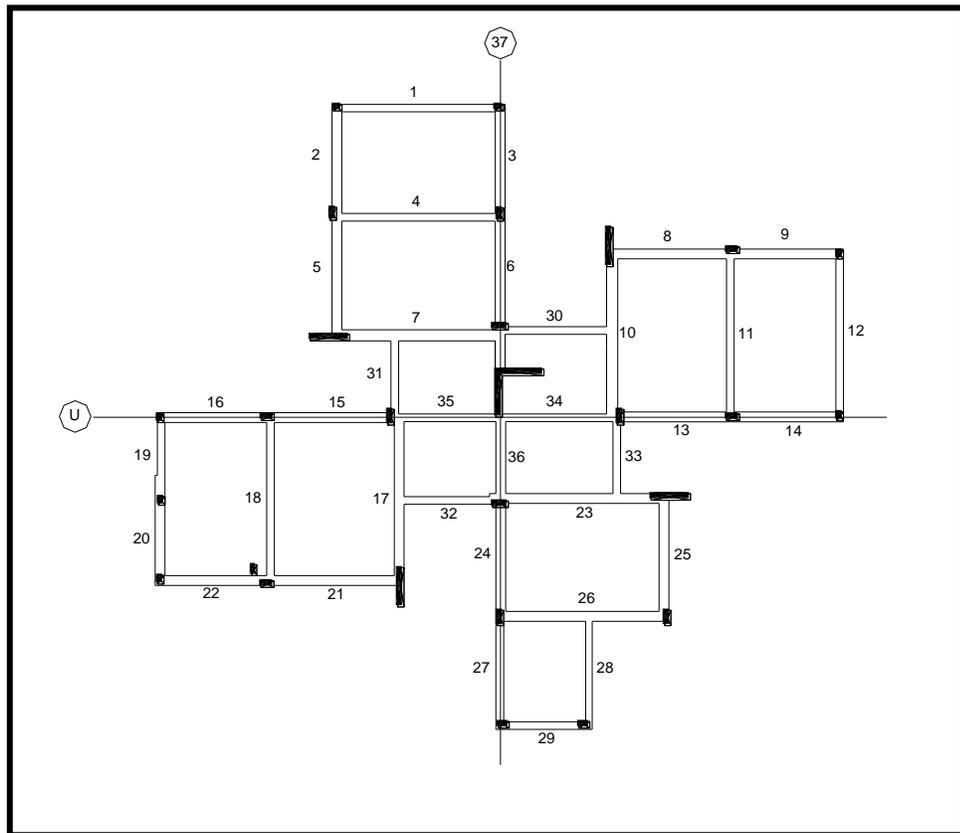


Figura 20. Numeración de las vigas.

Para el ejemplo se tomó la viga número 1, la cual tiene unas dimensiones de 0.35 x 0.45 m, entre las columnas 1 y 2 (figura 18). El procedimiento es el

mismo que el utilizado en la carga de las vigas del ejemplo de caída controlada. A continuación se presenta el ejemplo de cálculo para la viga.

Las columnas uno y dos tienen las mismas dimensiones 0.30 x 0.50 m para el ejercicio se toma la dimensión de 0.5 m, la cual está en el sentido de la viga. La viga tiene una longitud de 7.5 m entre ejes y una luz de 6.65 m, para el ejercicio se toma la longitud de 7.5 m.

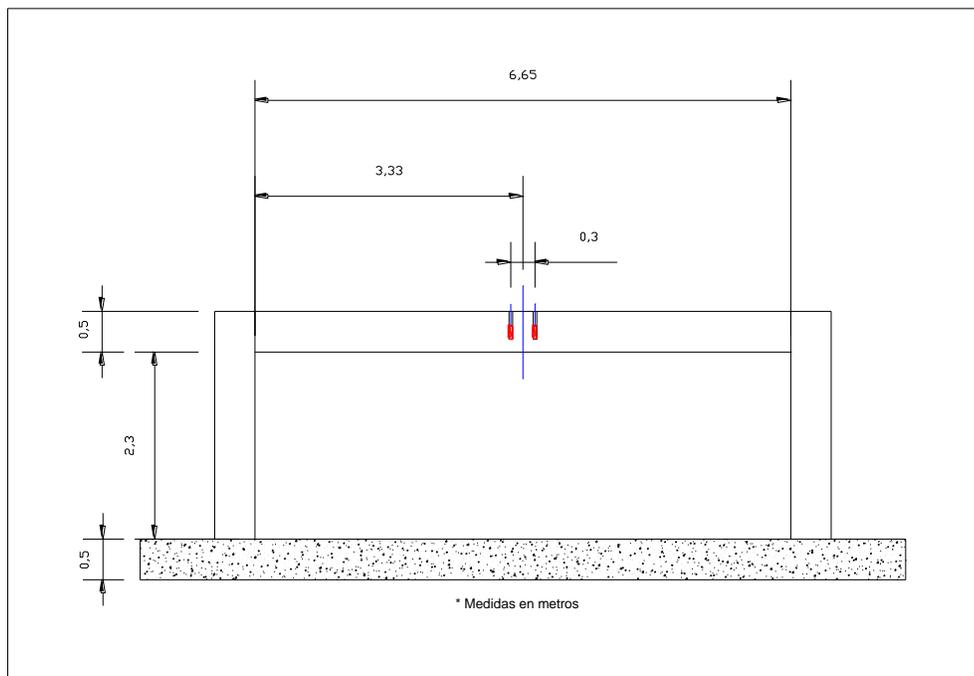


Figura 21. Carga para la viga 1.

Calculando con la ecuación por carga de ruptura los datos obtenidos son:

$$Q_{exp} = 0.56 \times R^3 \times K \times C$$

$$Q_{exp} = 0.56 \times (0.1667 \text{ m})^3 \times 28.19 \times 1.0 = 0.073 \text{ Kg. / barreno}$$

La cantidad de explosivo para la viga es :

- $Q_{\text{exp}} \times \#$ de barrenos
- $Q_{\text{total viga}} = 0.073 \text{ Kg.} \times 2 = 0.146 \text{ Kg. / viga} = 146.0 \text{ gr./ viga}$

Si se calcula la misma viga con la ecuación por longitud de carga por medio de la cual se obtiene:

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times \rho \times Lc}{40}$$

Entonces

$$Q_{\text{exp}} = \frac{\pi \times (4.45 \text{ cm})^2 \times 1.25\text{g/cm}^3 \times 0.1667 \text{ m}}{40}$$

$$Q_{\text{exp.}} = 0.324 \text{ Kg. / barreno}$$

$$Q_{\text{total viga}} = 0.324 \text{ Kg.} \times 2 \text{ barrenos} = 0.648 \text{ Kg. / viga} = 648.0 \text{ gr. /viga}$$

Ver cálculos de las vigas restantes en las tablas 19,20,21,22 y 23

El siguiente paso es ubicar los tiempos de retardo en los diferentes elementos estructurales de tal forma que los elementos se vayan demoliendo del centro hacia afuera y de arriba hacia abajo las figuras 22, 23, 24, y 25

muestran los tiempos de tardo para cada planta cargada del edificio.

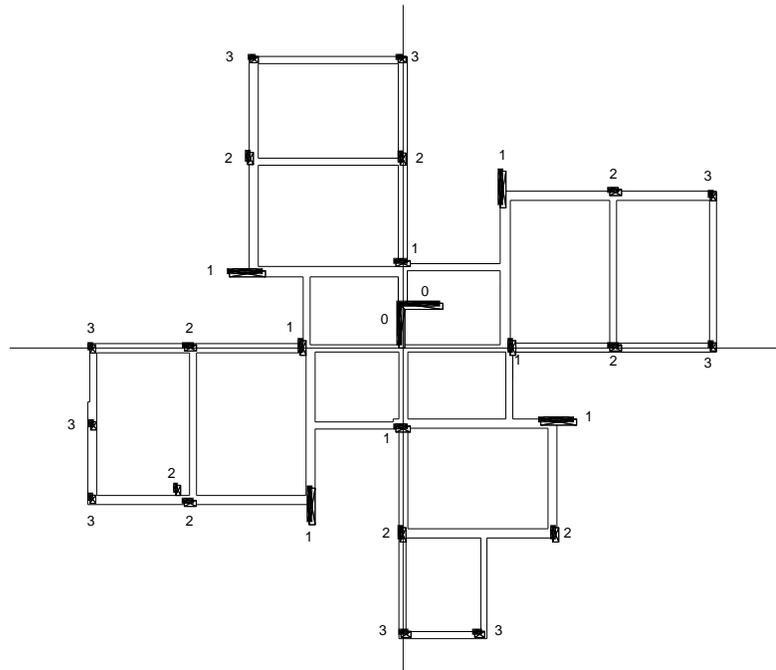


Figura. 22. Tiempos de retardo de las columnas para niveles 1 y 9

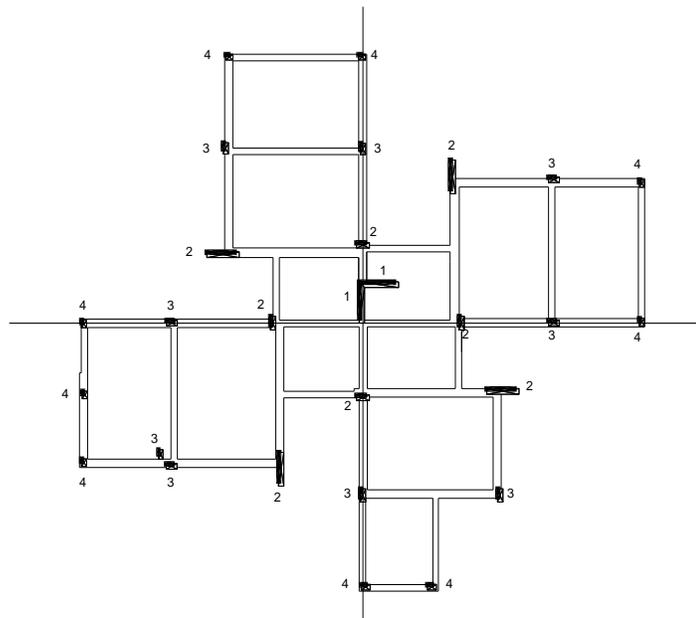


Figura 23. Tiempos de retardo de las columnas para el nivel 2.

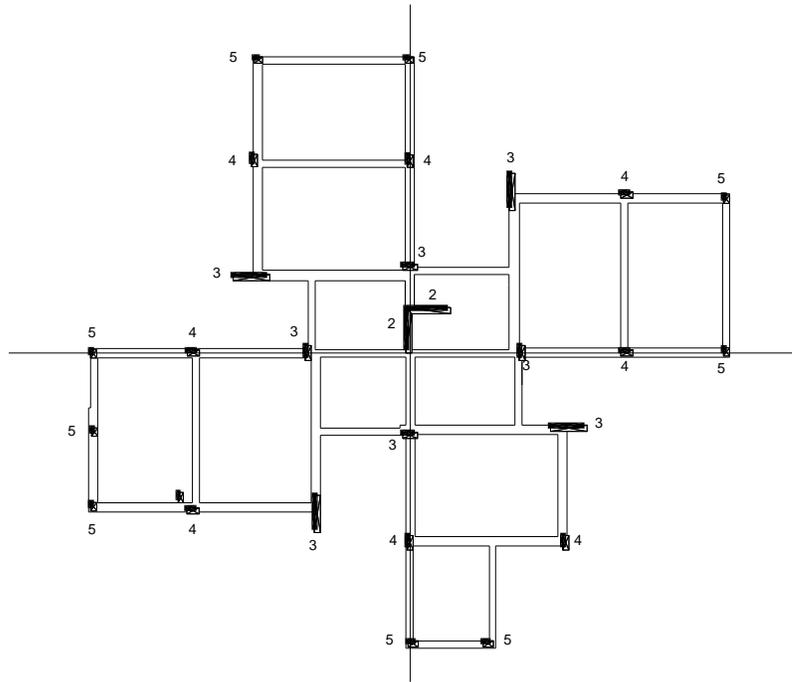


Figura 24. Tiempos de retardo de las columnas para el nivel 3.

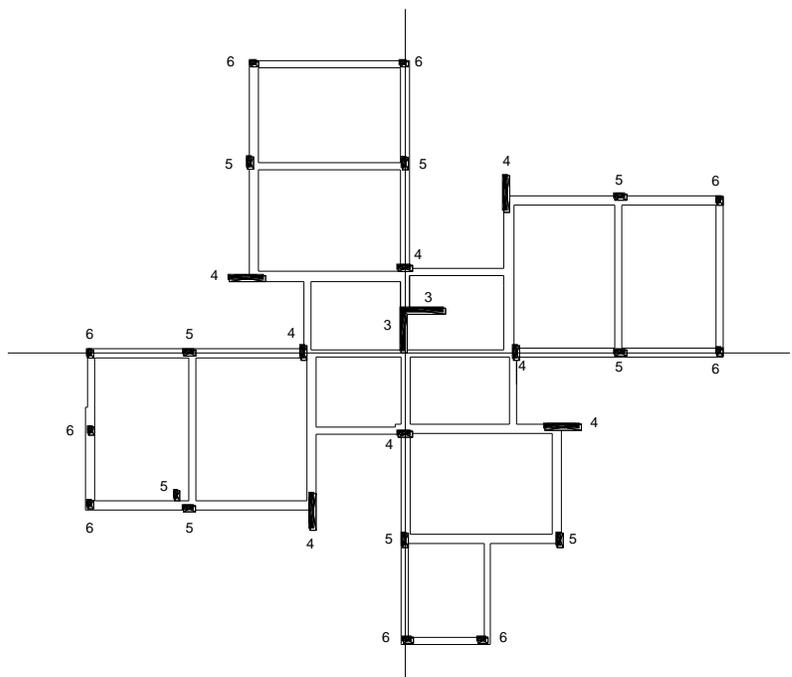


Figura 25. Tiempos de retardo de las columnas para el nivel 4.

Los tiempos de tardo para las vigas se pueden observar en las figuras 26, 27, 28 y 29 respectivamente.

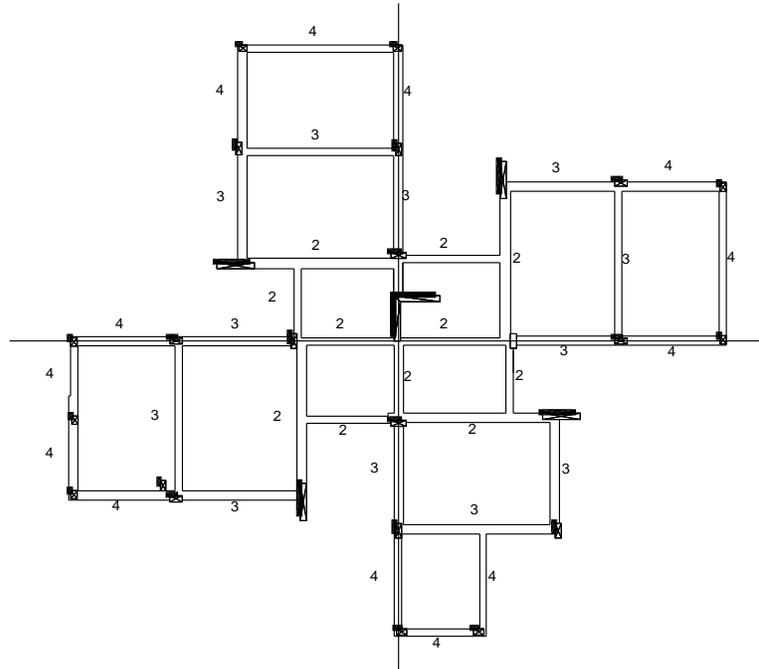


Figura 26. Tiempos de retardo de las vigas para niveles 1 y 9.

Si se unen las figuras 22 y 26, se puede ver que el tiempo de retardo de la viga siempre va un número después del mayor número de la columna, es decir, que si las columnas tienen los tiempos 2 y 3, el número del tiempo de retardo para la viga es 4.

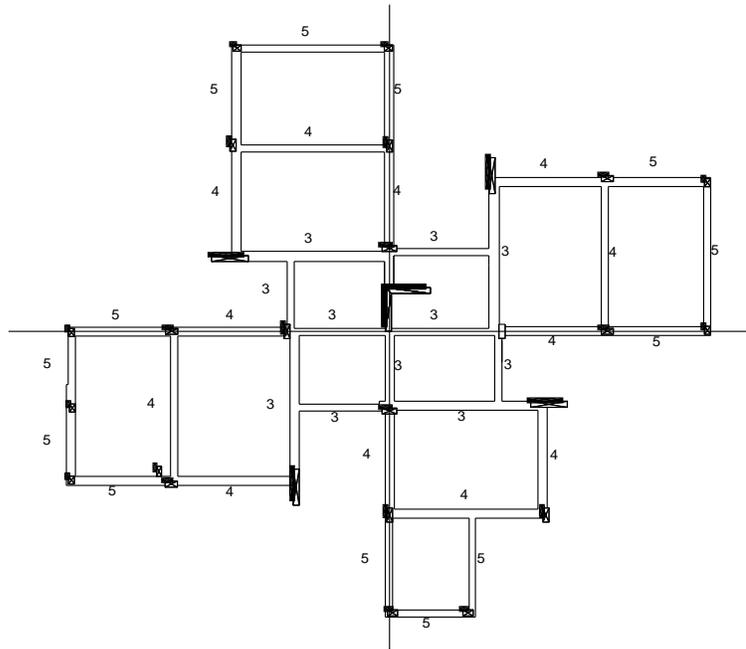


Figura 27. Tiempos de retardo de las vigas para el nivel 2.

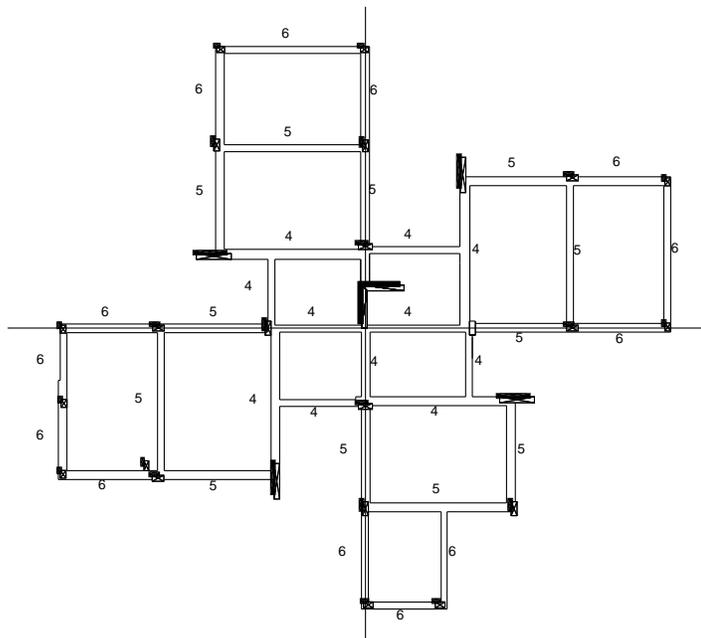


Figura 28. Tiempos de retardo de las vigas para el nivel 3.

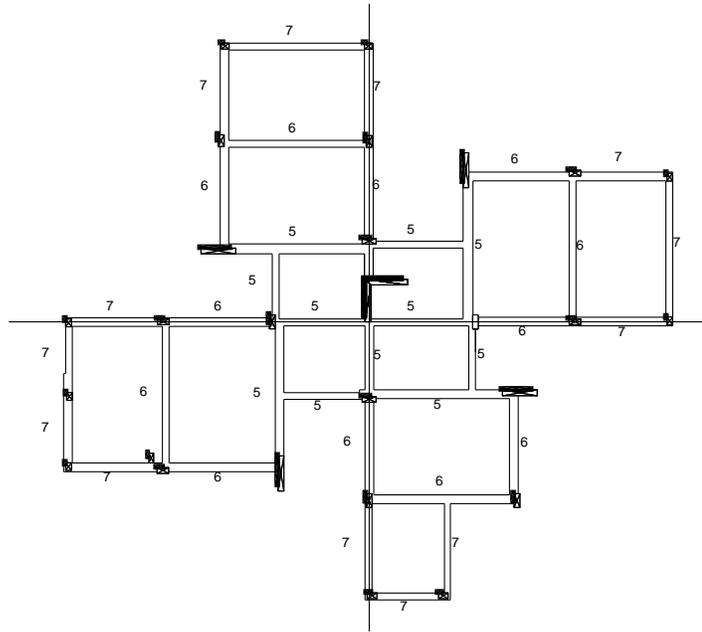


Figura 29. Tiempos de retardo de las vigas para el nivel 4.

Se realiza a continuación el cálculo de cantidad de cordón detonante.

- cordón detonante de las columnas : 0 m, el detonador se conecta la línea de piso directamente.
- cordón de las vigas: 0 m, el detonador se conecta la línea de piso directamente.
- cordón malla de piso : Líneas centrales a las que se unen las líneas de los detonadores nonel.

Entonces:

Nivel 1 = 81.65 m

Nivel 2 = 81.65 m

Nivel 3 = 81.65 m

Nivel 4 = 81.65 m

Nivel 9 = 81.65 m

Línea central de detonación (para unir las mallas de los niveles) = ± 25 m

Cantidad total de cordón detonante para el edificio = 433.25 m

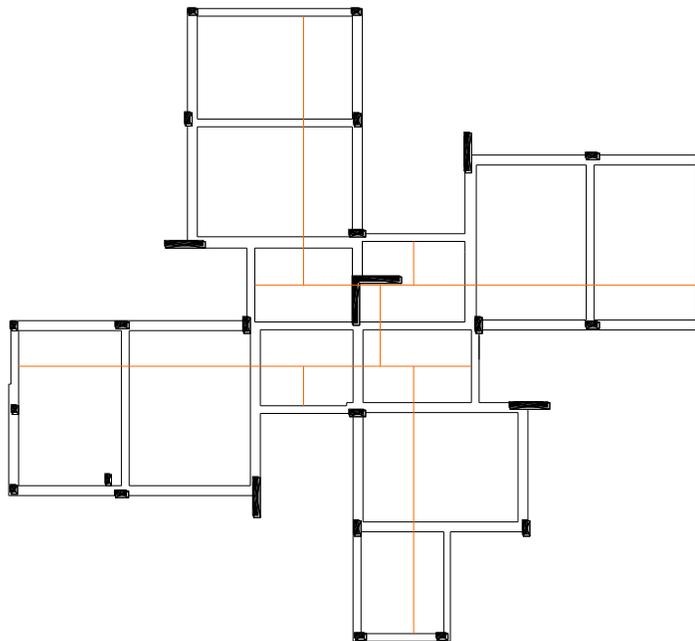


Figura 30. Líneas de cordón detonante para todos los niveles.

Como ya se hizo en el ejemplo anterior se deben realizar los cálculos de distancia de seguridad y daños.

$$D = 120 \sqrt[3]{\text{Kg.}}$$

$$D = 120 \sqrt[3]{650} = 1039.5 \text{ m}$$

$$D = 1039.5 \text{ metros} \times 15 \% = 155.9 \text{ metros}$$

* Nota: Los cálculos de distancia de seguridad para ambos ejemplos se realizaron con la cantidad de carga calculada mediante la fórmula de longitud de carga.

3. CÁLCULOS DE LA DEMOLICIÓN DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL Y DEL EDIFICIO CÓRDOBA TORRE CUATRO MEDIANTE EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS PORTICADAS CON UTILIZACIÓN DE EXPLOSIVOS

No se puede negar que en la actualidad, los computadores están presentes en casi todas las actividades del hombre, y la Ingeniería Civil no es la excepción, por esto cada día es mayor el desarrollo de programas que agilizan y facilitan la labor del Ingeniero, realizando cálculos muchas veces repetitivos, y con una apariencia didáctica y fácil de utilizar.

El objeto de esta evolución es permitir que el Ingeniero dedique mayor tiempo a otras actividades que requieren de mayor atención, sin que esto signifique que no deba estar pendiente de los resultados arrojados por el computador, pues siempre se requiere la revisión final del profesional en caso de que se presente cualquier duda.

En el presente capítulo se desarrollarán los ejemplos de demolición presentados en el capítulo 2, esta vez mediante el software de simulación para demolición de estructuras porticadas en concreto con utilización de explosivos. Se explicará en forma clara y sencilla las características del software, la forma de introducir los datos y la manera de interpretar los resultados con las dos ecuaciones de carga.

3.1 EDIFICIO ADMINISTRATIVO UNIVERSIDAD NACIONAL.

Para introducir la malla del edificio administrativo de la Universidad Nacional se debe conocer inicialmente el número de luces en los tres ejes y las distancias de cada una de ellas; basados en los planos arquitectónicos. Para ello se retoma el plano de las columnas enmarcadas en los ejes. (figura 31)

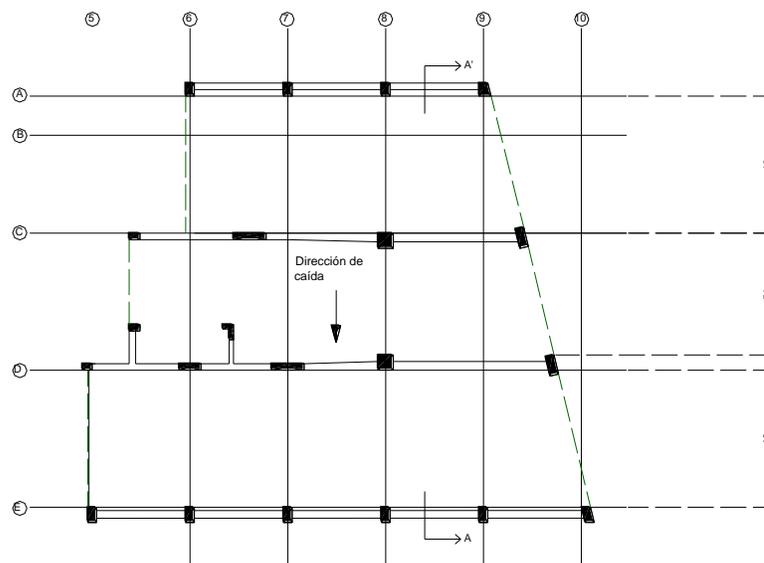


Figura 31. Plano de las columnas enmarcadas en los ejes

De esta manera se obtienen los siguientes datos (Tabla 24):

Tabla 24 Datos de los ejes tomados de los planos del Edificio Universidad Nacional

Num.	DISTANCIAS (cm.)		
	EJE X	EJE Y	EJE Z
1	170	630	280
2	280	190	280
3	205	440	280
4	75	630	280
5	170	----	280
6	450	----	280
7	450	----	280
8	185	----	280
9	125	----	280
10	140	----	280
11	----	----	280

Y a continuación se procede a introducir los datos en el software de la siguiente manera:

Menú *Archivo*→*Nuevo* y se procede a introducir los datos de la figura 32

Diez luces en el eje X, cuatro en el eje Y y 11 Pisos para el eje Z. En la casilla de distancia se puede introducir cualquier dato pues el siguiente paso es editar la malla.

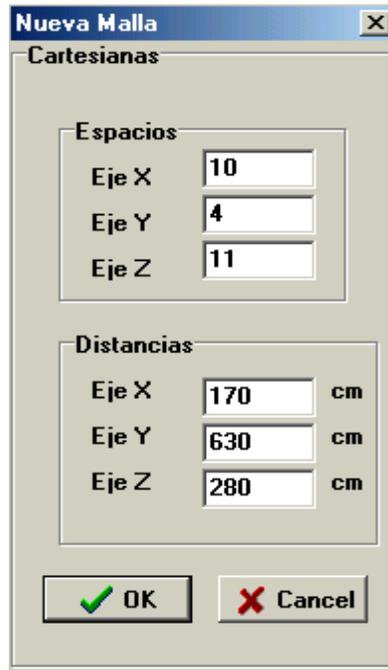


Figura 32 Ventana para introducir el Edificio de la Universidad Nacional.

Mediante el menú *Asignar*→*Malla* se procede a editar las distancias correspondientes tal y como se indica en la figura 33

Nivel	X	Y	Z
	280	190	280
	205	440	280
	75	630	280
	170		280
	450		280
	450		280
	185		280
	125		280
	140		280
			280

Figura 33 Ventana para editar la malla del Edificio Administrativo

A continuación se procede a dibujar los elementos (vigas y columnas).

Como la posición y dimensiones de las columnas es la misma en todos los pisos; solamente es necesario dibujarlos para el primero.

El procedimiento es el siguiente:

Verificar que el menú: *Opciones*→*Autodimensionar* se encuentre activado, hacer click sobre el elemento que se quiere dibujar; como se indica en la figura 34

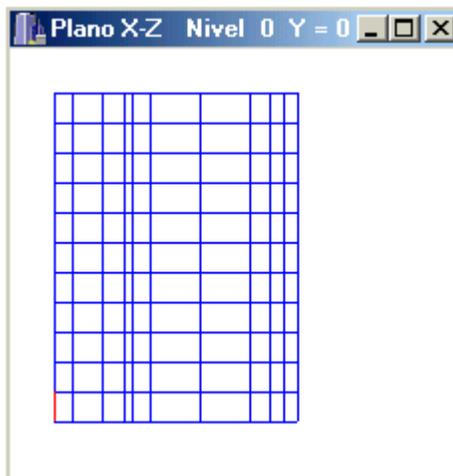


Figura 34 Ventana para dibujar los elementos

Basados en el cuadro 6 que corresponde a las dimensiones de las columnas se procede a dimensionarlas; se ilustra como ejemplo el dimensionamiento de la columna 1 del nivel 1 (figura 35)

Tabla 25 Dimensiones de las columnas Edificio Administrativo

COLUMNA N°	DIMENSIONES (cm)	
	En X	En Y
1	35	70
2	35	70
3	35	70
4	35	70
5	35	70
6	35	70
7	45	25
8	85	25
9	85	25
10	55	70
11	45	70
12	45	25
13	25	60
14	45	30
15	85	25
16	55	70
17	45	70
18	35	60
19	35	60
20	35	60
21	35	60



Figura 35 Dimensiones de las columnas número 1

El mismo procedimiento se sigue con las vigas; para ello hay que tener en cuenta el plano (figura 31), y las dimensiones (cuadro 7)

Tabla 26 Dimensiones de las vigas Edificio Administrativo

VIGA N°	DIMENSIONES (cm)	
	Ancho	Alto
1	20	45
2	20	45
3	20	45
4	20	45
5	20	45
6	20	45
7	30	45
8	30	45
9	30	45
10	25	45
11	40	45
12	40	45
13	25	45
14	25	45
15	40	45
16	40	45
17	30	45
18	30	45
19	30	45
20	30	45
21	30	45

Cuando se encuentra dimensionado el piso número 1, se selecciona el menú: *Opciones*→*Repetir Nivel* y se activa la casilla de repetición automática. De esta manera quedará dibujado todo el edificio.

Así mismo, mediante el menú: *Asignar*→*Diámetro de Indugel* se selecciona un diámetro de 4,4 cm.

Mediante el menú: *Asignar*→*Tipo de Voladura* se selecciona “Voladura Controlada en -Y”.

Finalmente, mediante el menú: *Opciones*→*Tipo de Fórmula* se selecciona la ecuación con la cual se requieren los cálculos; Inicialmente vamos a presentar los cálculos con la ecuación de “cargas de ruptura”.

3.1.1 Cálculos con la ecuación de Cargas de Ruptura.

Tabla de Resultados	
FECHA:	EDIFICIO:
DIRECCIÓN:	NUMERO DE PISOS: 11
INGENIERO:	Actualizar
Vigas	Columnas
Muros	Datos
Tipo de voladura	Voladura Controlada en -Y
Diámetro de Indugel (cm)	4.4
Número de Barrenos	453
Cantidad de Indugel Plus AP (Kg)	53.5104387470904
Cantidad de Detonadores Nonel (un)	453
Cantidad de Cordón Detonante (m)	699.3
Tiempo de Perforación (Hr)	787.5197408
Tiempo de Cargue (Hr)	562.748481446667
Tiempo de Confinado de Columnas (Hr)	139.5
Distancia de seguridad [Estructura Confinada] (m)	67.8294193906853

Figura 36 Datos con “Cargas de Ruptura”

3.1.2 Cálculos con la ecuación de Longitud de Carga

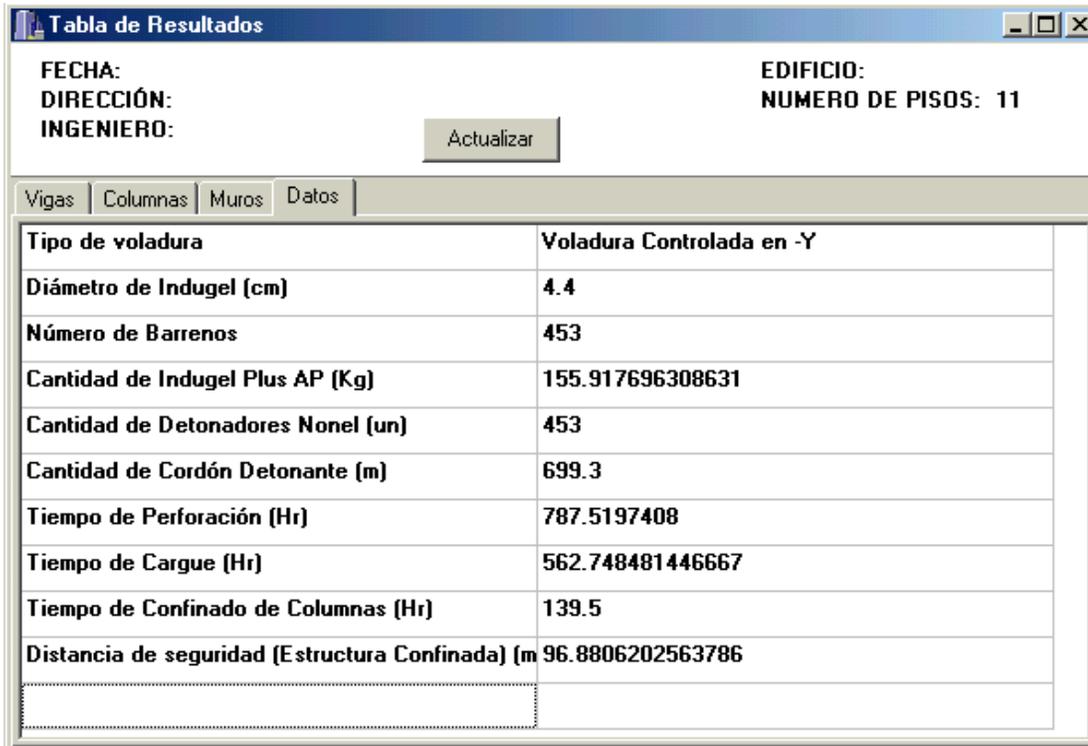


Tabla de Resultados			
FECHA:	EDIFICIO:		
DIRECCIÓN:	NUMERO DE PISOS: 11		
INGENIERO:	Actualizar		
Vigas	Columnas	Muros	Datos
Tipo de voladura	Voladura Controlada en -Y		
Diámetro de Indugel (cm)	4.4		
Número de Barrenos	453		
Cantidad de Indugel Plus AP (Kg)	155.917696308631		
Cantidad de Detonadores Nonel (un)	453		
Cantidad de Cordón Detonante (m)	699.3		
Tiempo de Perforación (Hr)	787.5197408		
Tiempo de Cargue (Hr)	562.748481446667		
Tiempo de Confinado de Columnas (Hr)	139.5		
Distancia de seguridad [Estructura Confinada] (m)	96.8806202563786		

Figura 37 Datos con "Longitud de Carga"

Así mismo, en la figura 38 se muestra el dibujo del edificio en tercera dimensión con los colores de retardo de acuerdo a la figura 39.

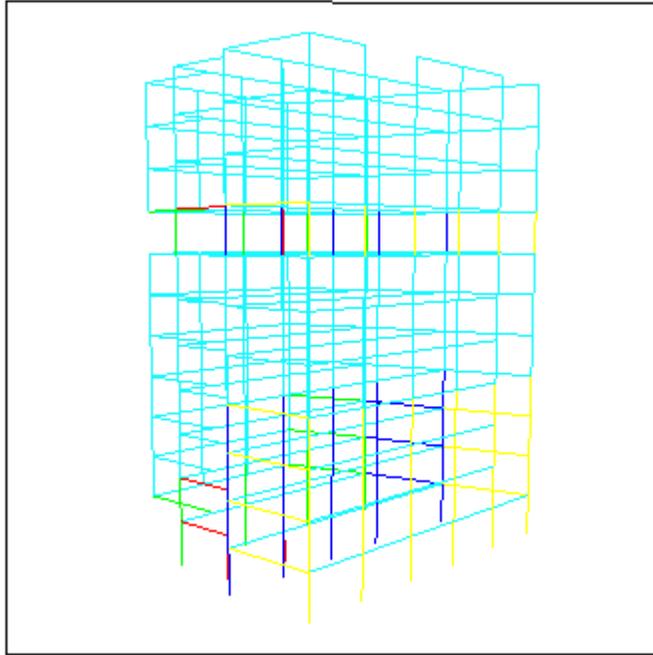


Figura 38 Edificio cargado según colores de retardo

Colores de Retardo	
Grupo de Color	
<input type="radio"/> Retardo 0	
<input type="radio"/> Retardo 1	
<input type="radio"/> Retardo 2	
<input type="radio"/> Retardo 3	
<input type="radio"/> Retardo 4	
<input type="radio"/> Retardo 5	
<input type="radio"/> Retardo 6	
<input type="radio"/> Retardo 7	
<input type="radio"/> Retardo 8	
<input type="radio"/> Retardo 9	
<input type="radio"/> Retardo 10	
<input type="radio"/> Retardo 11	

Figura 39 Convención usada para los colores de retardo

3.2 EDIFICIO CÓRDOBA TORRE 4.

De la misma forma que se hizo para el edificio administrativo de la Universidad Nacional, en este caso también es necesario conocer el plano de localización de vigas y columnas (figura 36)

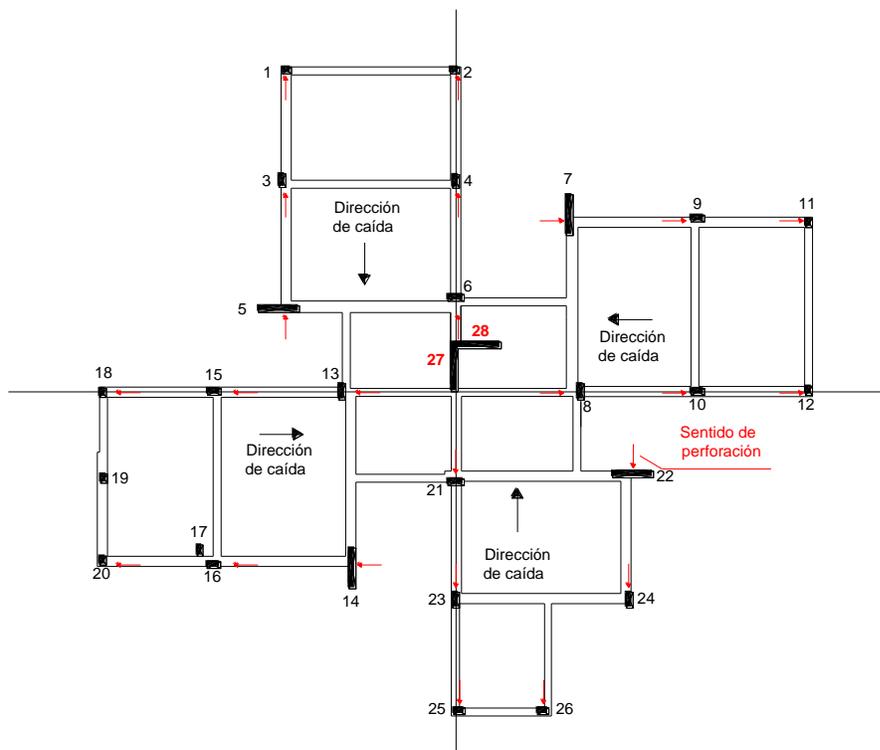


Figura 36 Localización de vigas y columnas

De este plano se obtienen los siguientes datos (cuadro 8):

Tabla 27 Datos de los ejes tomados de los planos del Edificio Córdoba Torre cuatro

Num.	DISTANCIAS (cm.)		
	EJE X	EJE Y	EJE Z
1	403	500	230
2	97	169	230
3	305	49	230
4	200	287	230
5	49	15	230
6	501	34	230
7	90	365	230
8	309	202	230
9	102	162	230
10	49	49	230
11	200	336	230
12	305	169	230
13	500	500	230
14			230

El edificio tiene 13 luces en los planos X y Y, y 14 pisos para el eje Z con una altura de 2.30 metros.

De esta manera mediante el menú: *Archivo*→*Nuevo* se comienzan a introducir los datos.

A continuación se procede a editar la malla mediante el menú: *Asignar*→*Malla*, con los datos de la tabla 27

Así mismo se necesitan las dimensiones de columnas (Tabla 28) y de vigas (Tabla 29).

Tabla 28 Dimensiones de las columnas Torre Córdoba

COLUMNA N°	DIMENSIONES (cm)	
	En X	En Y
1	50	30
2	50	30
3	30	70
4	30	70
5	185	30
6	90	30
7	30	185
8	30	90
9	70	30
10	70	30
11	30	50
12	30	50
13	30	90
14	30	185
15	70	30
16	70	30
17	30	50
18	30	50
19	30	40
20	30	60
21	90	30
22	185	30
23	30	70
24	30	70
25	50	30
26	50	30
27	30	230
28	230	30

Tabla 29 Dimensiones de las vigas Torre Córdoba

VIGA N°	DIMENSIONES (cm)	
	Ancho	Alto
1	35	45
2	45	45
3	45	45
4	35	45
5	45	45
6	45	45
7	45	45
8	45	45
9	45	45
10	45	45
11	35	45
12	35	45
13	45	45
14	45	45
15	45	45
16	45	45
17	45	45
18	35	45
19	35	45
20	40	45
21	45	45
22	40	45
23	45	45
24	45	45
25	45	45
26	45	45
27	45	45
28	30	45
29	35	45
30	35	45
31	35	45
32	35	45
33	35	45
34	35	45
35	35	45
36	45	45

En este caso solamente es necesario dimensionar el nivel 1, y mediante el menú *Opciones*→*Repetir Nivel* se activa la opción de repetición automática para que el programa dimensione todos los pisos hacia arriba.

El siguiente paso es seleccionar un concreto de resistencia igual a 3000 PSI; esto se hace mediante el menú: *Asignar*→*Material*.

Así mismo, mediante el menú: *Asignar*→*Diámetro de Indugel* se selecciona un diámetro de 4,4 cm.

Mediante el menú: *Asignar*→*Tipo de Voladura* se selecciona “Desplome Interno”

Finalmente, mediante el menú: *Opciones*→*Tipo de Fórmula* se selecciona la ecuación con la cual se requieren los cálculos; Inicialmente vamos a presentar los cálculos con la ecuación de “cargas de ruptura”.

3.2.1 Cálculos con la ecuación de Cargas de ruptura

Tabla de Resultados	
FECHA:	EDIFICIO:
DIRECCIÓN:	NUMERO DE PISOS: 14
INGENIERO:	Actualizar
Vigas	Columnas
Muros	Datos
Tipo de voladura	Desplome Interno
Diámetro de Indugel (cm)	4.4
Número de Barrenos	1954
Cantidad de Indugel Plus AP (Kg)	65.2372767378101
Cantidad de Detonadores Nonel (un)	1954
Cantidad de Cordón Detonante (m)	1390.13
Tiempo de Perforación (Hr)	2241.5959392
Tiempo de Cargue (Hr)	1601.80709822
Tiempo de Confinado de Columnas (Hr)	210
Distancia de seguridad [Estructura Confinada] (m)	72.4609196179643

3.2.2 Cálculos con la ecuación de Longitud de Carga

Tabla de Resultados	
FECHA:	EDIFICIO:
DIRECCIÓN:	NUMERO DE PISOS: 14
INGENIERO:	Actualizar
Vigas	Columnas
Muros	Datos
Tipo de voladura	Desplome Interno
Diámetro de Indugel (cm)	4.4
Número de Barrenos	1162
Cantidad de Indugel Plus AP (Kg)	293.271726337436
Cantidad de Detonadores Nonel (un)	1162
Cantidad de Cordón Detonante (m)	1390.13
Tiempo de Perforación (Hr)	1481.2759392
Tiempo de Cargue (Hr)	1058.49509822
Tiempo de Confinado de Columnas (Hr)	210
Distancia de seguridad [Estructura Confinada] (m)	119.590059298444

CONCLUSIONES

1. El uso adecuado de los recursos disponibles; en este caso el computador, acelera el avance de la sociedad y, en el área de Ingeniería disminuye considerablemente costos y tiempo en la etapa del diseño de proyectos.
2. El programa para demolición con explosivos, de estructuras porticadas en concreto; calcula de manera confiable cantidades de indugel, detonadores, cordón detonante, posición de las cargas dentro de la estructura, tiempos de retardo para lograr la voladura deseada; además de otros datos adicionales que facilitan en gran manera el diseño de la demolición.
3. El programa permite calcular y evaluar rápidamente diferentes alternativas de demolición, conjugando variables como: diámetro de explosivo, tipo de voladura, tipo de fórmula, con el fin de que el Ingeniero elija la más conveniente de acuerdo con las condiciones particulares del proyecto.
4. La demolición con explosivos reduce considerablemente el tiempo de trabajo, la maquinaria requerida, la cantidad de operarios necesaria, el mugre producido en obra y los costos totales; comparada con la tradicional demolición mecánica.

RECOMENDACIONES

1. El uso del programa no reemplaza al Ingeniero Civil quien tiene la responsabilidad de verificar los resultados y en caso necesario, ajustarlos a las condiciones específicas de cada proyecto.
2. El Ingeniero debe analizar las condiciones generales de cada proyecto tales como: importancia, presupuesto, disponibilidad de Indugel Plus AP; con el objeto de determinar el tipo de fórmula más apropiado.
3. Es de suma importancia contar con los planos estructurales o arquitectónicos de la edificación, ya sean originales o un bosquejo realizado en el sitio.
4. El Ingeniero debe realizar una minuciosa inspección en las construcciones vecinas del edificio que se va a demoler con el fin de determinar las medidas de seguridad necesarias, el tipo de voladura más conveniente, así como advertir a la comunidad sobre las explosiones que se van a producir.
5. Es recomendable tomar fotografías y realizar videos de las construcciones vecinas para evitar posibles reclamaciones posteriores.
6. El resultado obtenido de Distancia de Seguridad, está calculado para la estructura confinada, es decir, se deben recubrir con malla protectora, neumáticos y tapetes los elementos estructurales por demoler.
7. El diámetro recomendable de Indugel Plus AP para efectuar voladuras en concreto es de 32 mm.

8. Se recomienda trabajar con cuadrillas de cuatro operarios, distribuidos así; uno para la perforación, uno para cargar y atacar y dos para confinar los elementos.
9. Se recomienda comparar el dato obtenido por la fórmula de longitud de carga con la cantidad de carga que cabe realmente en el espacio de la carga y queda a criterio del Ingeniero si disminuye o no, la atacadora.
10. El Ingeniero encargado del proyecto debe estudiar y aplicar las medidas de seguridad publicadas por la Industria Militar (Indumil), tanto para el manejo de los explosivos como para la ejecución de las voladuras.
11. Se recomienda tener presente que la fórmula denominada “cargas de ruptura” contiene un coeficiente igual a 0,526 derivado del estudio realizado por los Ingenieros Juan Carlos Guerra Martínez y Rafael Romero Castro publicado en el trabajo de grado titulado “Ajuste de fórmulas extranjeras en cálculos de explosivos fabricados en Colombia para ruptura de concretos” (1988). Esto significa que la fórmula está diseñada únicamente para utilizar Indugel Plus AP fabricado por la Industria Militar colombiana.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO MORENO, Héctor Javier. Empleo de los explosivos en obras de Ingeniería Civil y Militar. Bogotá. Primer centenario de la imprenta y publicaciones de las F.F. M.M., 1996, 395p.

CAÑAS Edgar, PEREZ Javier, La utilización de los explosivos en la Ingeniería civil, conocimiento de explosivos, Bogotá, 1994, 402 p.

CIA. MEXICANA DE EXPLOSIVOS, Manual de Dupond, Diferentes usos de los explosivos, México centro regional de ayuda Técnica, 1973, 323 p.

DEITEL & DEITEL. Cómo programar en C++

DEPARTMENT OF THE FIELD MANUAL. Explosives and demolitions. EE.UU., 1971, 268p.

ESCUELA DE INGENIEROS MILITARES, Empleo de los explosivos en obras de Ingeniería Civil y Militar, 2ª edición, Santafé de Bogotá D.C., Editorial Margabby Ltda., 1996, 330 p.

HUETE FUERTES, Ricardo. Demoliciones. España. EDITAN S.A. , 1995, 127p.

QUINTA EDICIÓN EJÉRCITO. Manual de explosivos y demoliciones. 1996,144p.

RAMIREZ, Edgar Eduardo. Utilización, manejo y seguridad de los explosivos permisibles. Bogotá, 1998, 128 p.: il. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad Militar “Nueva Granada”. Facultad de Ingeniería Civil.

TORRES MUÑOZ, Alicia. Metodología del Trabajo Científico Aplicada a la Ingeniería Civil. Santafé de Bogotá. Universidad Militar “Nueva Granada”. Facultad de Ingeniería Civil. 1993,225p.