

Corte seccional de un cráter superficial.

APLICACION PACIFICA DE EXPLOSIONES NUCLEARES

La aplicación pacífica de explosiones nucleares ha sido motivo de estudio por eminentes hombres de ciencia, y sus experimentos y conclusiones han sido puestos al alcance del público en lenguaje de fácil comprensión.

Con base en esos estudios REVISTA CONSERVADORA presenta a sus lectores un resumen de tales trabajos, ya que una aplicación práctica de las explosiones nucleares se refiere a la apertura de un canal a nivel del mar, aplicación que nos interesa puesto que nuestro territorio ha sido por muchos años objeto de estudio para la apertura de un canal interoceánico.

Hemos dividido este trabajo en los diversos pasos y aspectos de las distintas operaciones y problemas que se presentan en la excavación de un canal a nivel.

Formación de cráteres

La remoción de tierra, —tal como la entendemos hoy— es la aplicación, para propósitos útiles, de la acción "craterizadora" de explosivos nucleares.

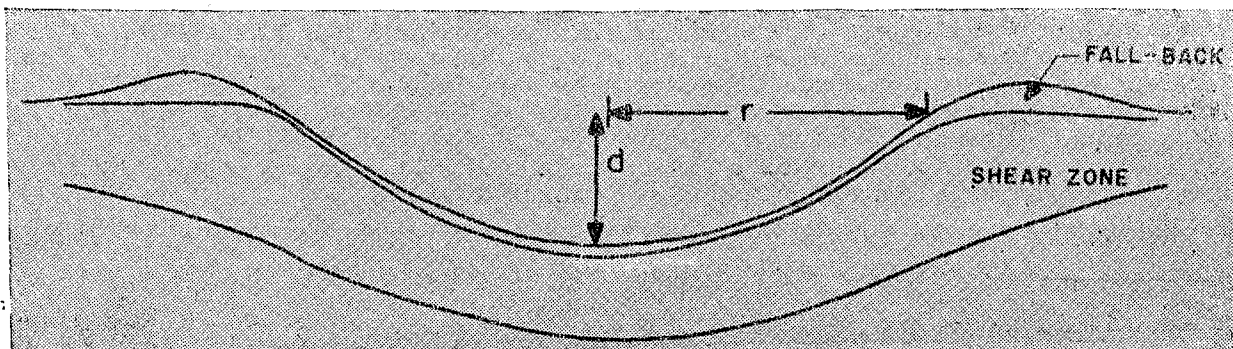
Existe una gran masa de conocimientos acerca de la ruptura de rocas y las capacidades de remoción de tierra por medio de explosivos químicos en los campos de la ingeniería civil y minera. La mayor parte de ella, sin embargo, no tiene aplicación a las explosiones nucleares. Aquella trata de cargas de diversa densidad, contenido energético, tasa de detonación y forma. Se usan trucos, tales como, colocación de cargas múltiples, fijación de tiempo de sucesivas detonaciones, ceba de los barrenos, etc. Las cargas nu-

cleares tienen concentraciones de energía y tasas de detonación mucho más grandes que aquellas de los explosivos químicos, y no pueden hacerse con ellas los mismos trucos, aunque no se descarta su posibilidad en el futuro.

El cráter

La palabra "cráter" corrientemente nos da la imagen de un hoyo en el suelo rodeado de un borde elevado. Esta imagen, empero, omite un buen número de detalles importantes para comprender cómo se forman los cráteres y cómo pueden aprovecharse. En la Fig. A se muestra el perfil de un cráter tal como una explosión superficial lo forma. Las líneas tortuosas indican la posición resi-

El mismo cráter con las varias zonas de movimiento y ruptura. (Fall Back: Material regresivo; Shear Zone: Zona de ruptura; R: Radio del cráter; D: Profundidad).



dual de las columnas de arena que antes estaban verticales y que se extendían hasta la superficie. Todavía llegan hasta la superficie, pero observese como se han extendido hacia los lados. Se ve claramente que la mayor parte del material a los lados y en los bordes del cráter fue empujado allí y no cayó en esa posición. Esa fue una explosión superficial. Explosiones más profundas rompen el material relativamente más hondo en comparación a sus diámetros pero hay también una gruesa capa de material regresivo (fallback) de modo que el cráter aparente, aunque más grande que en las explosiones superficiales, no tiene la misma exagerada profundidad en relación a su diámetro que tiene el verdadero cráter.

En la Fig. B se muestra el mismo cráter con las varias zonas de movimiento y ruptura. La configuración visible es lo que se llama el cráter aparente. La zona mayor que contiene el material regresivo tan suelto que no necesita romperse para ser removido, se llama el verdadero cráter. Bajo éste está la zona de ruptura (shear zone) en la cual el material ha sido presionado a tal extremo que, aunque no tiene la dureza del terreno no perturbado, ha de requerir rompimiento para su remoción.

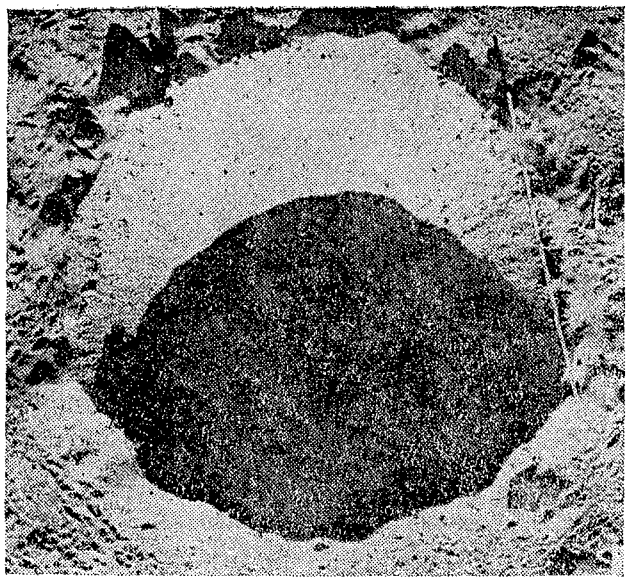
Medida de un cráter

El diámetro y la profundidad del cráter se miden al nivel original del terreno, excepto los cráteres meteóricos y lunares, en los que se usan las dimensiones hasta la cresta de los bordes. El borde o labio es la región elevada alrededor de la depresión central. Su lado interno es, a veces, escarpado y definido, pero el lado externo a menudo se confunde gradualmente con el terreno circundante exterior de modo que es difícil definirlo.

Las dimensiones de los cráteres varían con la clase del terreno, la profundidad de la explosión y el tamaño de carga usada. Los experimentos confirman lo que el análisis predice: que las dimensiones lineales de los cráteres en los casos de explosiones superficiales varían en proporción a la raíz cúbica de la carga usada.

Magnitud de las cargas

Lo dicho hasta ahora se refiere a craterización por medio de explosivos químicos. ¿En qué relación están los resultados de tales explosiones con explosivos nucleares? La diferencia aparentemente obvia entre las dos es la magnitud de las cargas. Mas eso no es todo. La diferencia esencial entre las dos, es: la TNT pesa 100 libras por pie cúbico y su velocidad de detonación es cerca de 20.000 pies por segundo. Esto significa que un kilotón de TNT formaría una esfera de 34 pies de diámetro y tomaría una milésima de se-



Cráter de una explosión relativamente superficial. Obsérvese el labio o borde bien definido, el hoyo y el polvo fino fuera del labio.

gundo para hacer explosión. Un kilotón de explosivos nucleares, por otra parte, se puede colocar en un espacio de 30 pulgadas de diámetro y puede detonarse en un microsegundo. La densidad de energía y la tasa de energía desarrolladas por el explosivo nuclear son algo más de mil veces mayor que las desarrolladas por los explosivos químicos.

La excavación por explosivos nucleares

Cuando se usan explosivos químicos en minería o trabajos de excavación, generalmente se usan solamente para romper las rocas que se han de remover después por medios mecánicos. Si es necesario excavar un gran hoyo por medio de explosivos químicos, ésta es la forma en que se haría. Sería mucho más costoso colocar una gran cantidad de explosivos químicos y simplemente volar la tierra fuera del hoyo. Mas no solamente los explosivos son caros sino que el costo de colocación es considerable.

Por otra parte, si se desea excavar un gran hoyo usando explosivos nucleares, es ciertamente posible enterrar un artefacto lo suficientemente hondo para que una gran cantidad de material sea roto por la explosión mas no removido substancialmente a la superficie. Entonces es necesario remover el material por los medios convencionales y quizás es necesario remover más tierra que la deseada, porque para obtener profundidad puede que sea necesario aceptar una mayor anchura que la deseada. Por lo que es posible que aunque el costo de los explosivos nucleares fuese substancialmente menor que el costo de los explosivos químicos para el mismo trabajo, los costos de remoción harían los costos totales insignificamente diferentes.

Nuevos problemas

Así es que se considera que para excavar con economía por medio de explosivos nucleares es necesario simplemente excavar por medio de cráteres. Esto es económico porque es relativamente fácil colocar un explosivo nuclear en su sitio, y el costo de los explosivos nucleares, al menos cuando su rendimiento es alto, es barato por unidad de energía desarrollada. Este procedimiento, sin embargo, crea nuevos problemas.

Estos problemas son: destello, golpe de aire, y radioactividad.

El destello es un problema de fácil solución, puesto que todas las explosiones serían bajo tierra, de manera que no se vería el destello.

El segundo problema del golpe de aire que crea efectos sísmicos es más serio y lo discutiremos más adelante con mayores detalles, por ahora basta decir, que si la excavación se hace en sitios deshabitados sus efectos son menos nocivos hasta el punto de no constituir un verdadero problema.

El tercero y más importante de los problemas es el de la radioactividad del "fallout". Una de las formas de encarar ese problema es el desarrollo de explosivos nucleares "limpios", es decir, con un mínimo de radioactividad. Sin duda alguna es un problema difícil pero no sin solución.

Explosión simultánea

Se espera en tales operaciones usar el sistema de la detonación simultánea de varios artefactos. Para colocar estos artefactos en sus respectivos sitios se taladrarán hoyos verticales por los que se introducirán los artefactos. En algunas circunstancias será más conveniente el abrir pozos y luego túneles horizontales. Es posible encontrar métodos por medio de los cuales se distribuya la energía uniformemente por medio de túneles, lo que daría la ventaja de evitar los festones que separan un cráter del otro y así remover la tierra que es indispensable remover.

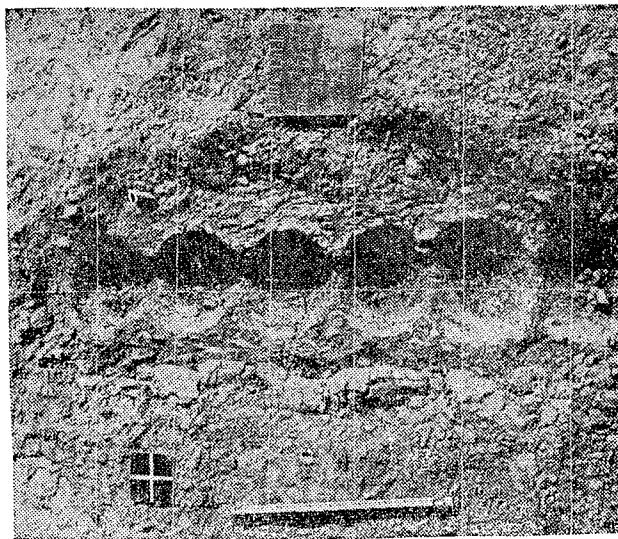
Justificación

Con todos estos problemas asociados, ¿cuándo se justifica una excavación por medio de explosivos nucleares? Existen tres razones por las que se puede excavar por medio de explosivos nucleares:

1) Conveniencia. Cuando existe una situación en la que el uso de métodos convencionales es casi imposible.

2) Tiempo. El tiempo requerido para una operación nuclear no es mucho mayor que el requerido para excavaciones comunes.

3) Costo. Es posible que el costo de un determinado proyecto de excavación corriente se reduzca hasta la décima parte si se usan explosivos nucleares. Un proyecto verdade-



Resultado de explosiones simultáneas o sucesivas de cargas individuales.

ramente grande puede costar mil millones de dólares. Si se puede hacer por cien millones entonces se vuelve una proposición más atractiva. Un proyecto semejante que originalmente solo podría hacerse con fondos del Gobierno, puede realizarse por medio de la iniciativa privada.

Radioactividad y temblores

Las partículas radioactivas se distribuyen en tamaño desde grandes rocas hasta moléculas. Es conveniente dividir el "fallout" en dos medidas por tamaños: una que contiene partículas mayores de 40 micrones (micron: la millonésima parte de un metro) de diámetro y otra de partículas de un diámetro menor.

El "fallout" que contiene partículas de más de 40 micrones de diámetro es el que constituye mayor peligro —durante las primeras diez horas y que puede extenderse de 150 a 250 millas—. El resto, es decir lo que es menor de 40 micrones, se extiende a largas distancias y cae a tierra muy despacio.

Para impedir el "fallout" o el problema de la radioactividad en las excavaciones, se debe enterrar la carga muy profundamente o producir poca fisión en la explosión, o ambas cosas a la vez.

En cuanto a movimientos sísmicos las predicciones no pueden ser absolutas. A las 20 millas, puede sentirse una aceleración de 0.1 g. Esto es en el dintel del peligro. A las 30 millas se predice una aceleración de 0.05 g., un temblor que puede fácilmente ser apreciado por las gentes, mas sin peligro. A las 40 millas: la aceleración de 0.03 g. puede aun sentirse y a las 120 millas una aceleración de 0.003, unas personas la sentirán otras no.

Golpes de aire

Durante ciertos experimentos, las explosiones han roto ventanas y creado algunas

perturbaciones hasta a 80 millas de distancia, mientras que en otros casos apenas si han sido oídos a la misma distancia. Una combinación de condiciones atmosféricas da por resultado un conducto de sonido que lleva el golpe de aire a grandes distancias.

Las rutas de las ondas sonoras en la atmósfera son refractados hacia la tierra cuando las ondas entran una capa de alta velocidad sonora mientras que son desviadas en dirección contraria cuando entran regiones de baja velocidad sonora. La velocidad del sonido está determinada en los niveles superiores por las temperaturas del aire y las velocidades del viento.

Refracción del sonido

Se forma una capa que refracta la energía sonora hacia la tierra en cualquier nivel donde la velocidad del sonido es más alta que en todos los niveles bajo ella. Existe una determinada condición más abajo de los 6.000 pies, condición causada por el aire frío cerca de la superficie, y otra, digamos, a los 35.000 pies, donde las temperaturas y las velocidades del sonido son mucho más bajas que en la tierra. En este caso la corriente de aire trae la velocidad del sonido con mayor fuerza que en las capas inferiores. Bajo tales condiciones atmosféricas puede concentrarse un foco de sonido muy fuerte.

Todo esto requiere estudios previos a las explosiones nucleares.

La contaminación ambiental

La habilidad para iniciar, y en alguna medida controlar, las reacciones nucleares, trae consigo nuevas fuentes de energía y nuevos instrumentos para el desarrollo del conocimiento en muchos campos de la industria, la medicina y la biología. Esto también ha traído nuevos problemas que se han de resolver. Uno de ellos es el potencial daño biológico que puede resultar del uso indiscriminado de la radioactividad, aumentado quizá por la actitud emocional hacia la radiación debido a que sus propiedades físicas hacen los fenómenos difíciles de descubrir por los sentidos humanos. El propuesto uso de explosivos nucleares para la excavación de puertos y canales llama la atención al problema de las posibles consecuencias biológicas de la radiación residual resultante de aquél.

Puesto que las consecuencias biológicas de la contaminación ambiental por residuos radioactivos son principalmente en función de las características físicas de los contaminantes, quizás lo mejor es examinar las propiedades físicas y químicas de los residuos radioactivos de que se tienen conocimientos.

Residuos radioactivos

Cualquiera que sea la explosión, los residuos han tendido a ser esféricos, material fusionado que refleja su origen derretido. Mientras las partículas son más grandes su forma irregular es mayor. Algunos son solubles en agua y ácidos diluídos; otros son insolubles. Todos son radioactivos mas no necesariamente contienen las mismas proporciones de isótopos específicos. Los datos sugieren que cualesquiera que sean las condiciones de las explosiones se produce un espectro completo de partículas, cuyas características de radioactividad varían conforme la naturaleza de las explosiones.

Dónde las partículas residuales van y qué hacen en el ambiente depende principalmente de su tamaño, de sus propiedades físicas y químicas y de los específicos radioisótopos presentes. El tamaño predominante de partículas encontradas en las diversas formas residuales decrece en proporción a la distancia. Las explosiones producidas en grandes masas de material inerte tienden a producir partículas grandes que a su vez producen campos relativamente intensos de residuos radioactivos. Esas grandes partículas en su proceso de formación actúan como recogedores de "nuclides" del hongo nuclear y los acarrean a tierra a relativamente cortas distancias.

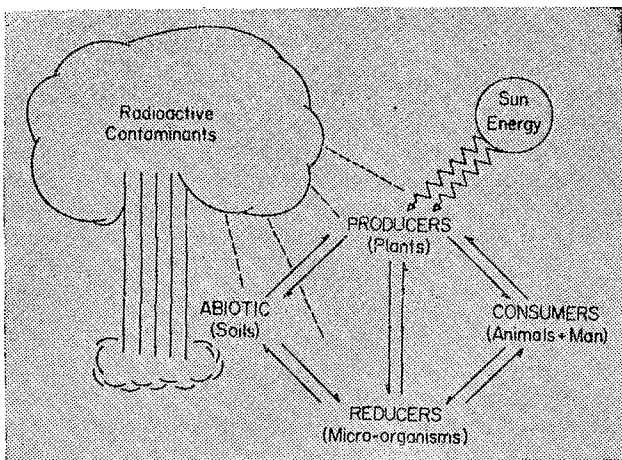
Propiedades físicas y químicas

En lo que respecta a las propiedades físicas y químicas del residuo nuclear, es importante señalar que ya sea que uno esté interesado en la lixiviación de los materiales radioactivos a través del suelo, la succión de productos radioactivos por las raíces y las hojas de las plantas, o el metabolismo de residuos radioactivos por los animales, la utilización de los contaminantes depende del material encontrado en forma soluble o digerible. Hasta que esto ocurra el efecto de los residuos radioactivos está limitado a la producción de un campo de radiación externa de una intensidad rápidamente declinante. En otras palabras, el peligro potencial de radioactividad metabolizada depende de aquella porción de la contaminación que es asequible biológicamente, esto es, en forma digerible o soluble.

Por esta razón se ha dado considerable atención en caracterizar los residuos nucleares con respecto a los factores que influyen en su solubilidad o asequibilidad biológica.

Solubilidad

La solubilidad de materiales residuales provenientes de explosiones superficiales o poco profundas ha probado ser similar a las aéreas. Por otra parte, la solubilidad de materiales residuales provenientes de explosio-



Relaciones radio ecológicas. Los componentes abióticos del ámbito en combinación con la energía solar establece el ciclo entre los productores (plantas) los consumidores (animales y hombres) y los reductores (micro-organismos).

nes bajo tierra, parece ser menor. Se puede predecir, por lo tanto, que los materiales residuales provenientes de explosiones para excavaciones de puertos o canales mostrarán solubilidades muy bajas y una asequebilidad biológica mínima.

Conceptos ecológicos

Es conveniente señalar varios conceptos ecológicos que deben ser considerados en la evaluación de las consecuencias biológicas de la contaminación radioactiva en el ámbito.

La ecología, en su sentido más amplio, es el estudio de las relaciones mutuas entre los organismos y su ámbito. Para propósitos de estudio el ecólogo encuentra conveniente dividir el ámbito en las partes funcionales que reflejan el ciclo de energía envuelto.

El componente abiótico incluye la parte sin vida del ámbito, terrestre, acuático, o atmosférico, y es la fuente de las sustancias básicas usadas por los productores en combinación con la luz solar en la producción de los nutrientes orgánicos que proveen tanto la energía como los materiales de construcción de la vida de los productores mismos, de los consumidores y de los reductores. Estos, como su nombre indica, se dedican a reducir las moléculas orgánicas a formas más simples incluyendo los componentes inorgánicos.

Relaciones ecológicas

Este simple y generalizado concepto de cómo el ámbito trabaja, puede aplicarse a cualquier circunstancia y es tan apropiado para el estudio de las relaciones: mar - diátomo - plancton - peces, como al estudio de las relaciones: suelos - plantas - animales - hombres. La ecología envuelve un estudio de las relaciones dinámicas entre los orga-

nismos en su lucha por los nutrientes y las energías que contienen. En su más amplio sentido, la ecología, incluye, también, los fenómenos físicos que hacen asequebles a los nutrientes, tales como, solubilidad, erosión y sus propiedades químicas.

Ya sea que nos refiramos a este fenómeno como ciclo biológico, balance de la naturaleza, cadena de alimentación, o pirámide del protoplasma, el principio básico permanece inalterable. Las sustancias primarias están incorporadas al ciclo y son usadas una y otra vez al pasar de una forma a otra. Así, si el material del ciclo llega a ser radioactivo en algún eslabón de la cadena, los efectos, alguna vez, tenderán a distribuirse entre las varias clases de organismos en vez que en los de una especie o individuo.

Contaminación radioactiva

En lo que respecta a la contaminación radioactiva, es importante saber dónde en el ciclo, o cadena de alimentación, y en qué proporción, las sustancias radioactivas se acumularán. Es importante saber en qué proporción pasan de un componente del ámbito al otro. Es importante saber cómo estos factores pueden influenciar el ciclo hasta llegar al hombre.

Además del problema de la dosis de radiación interna resultante de contaminantes metabolizados, está el énfasis adicional puesto sobre la población por las dosis externas de alta radiación energética de sustancias que pueden no estar en la forma de ciclo biológico, pero que, sin embargo, son capaces de producir tanto efectos fisiológicos como genéticos.

Otra consideración se refiere al tiempo en el que las dosis de radiación interna y externa son más efectivas. El problema de fijar los peligros biológicos de residuos radioactivos pueden ser arbitrariamente divididos en dos partes: una, el agudo o inmediato peligro que nace "primariamente" de la radiación externa y "secundariamente" del metabolismo de ciertos productos de la fisión; y otra, los peligros crónicos, o a largo plazo, que nacen "primariamente" de los productos metabolizados de la fisión y "secundariamente" de la radiación externa. La división del problema es real. La exacta duración de cada fase no lo es.

Modo de excavación

Un método propuesto para el uso de explosiones nucleares en la excavación de canales y puertos requiere una explosión profunda en la tierra para contener la reacción de manera efectiva, aunque a la vez lo suficientemente cerca de la superficie para provocar el colapso de la misma en la cámara resultante. Es durante el colapso que los residuos radioactivos pueden escaparse. La can-

tividad y la clase que se escape depende de cuán pronto después de la explosión ocurra el colapso. Todo material radioactivo que se escape será sometido a una especie de percolación en la masa de tierra que colapse.

Tal sistema envuelve considerable menor riesgo a la población que los otros problemas sanitarios que afronta el hombre hoy por la polución atmosférica de las industrias y el uso indiscriminado de insecticidas. Esta afirmación no debe considerarse, sin embargo, como aprobación absoluta de la seguridad total del mismo. Antes de poner al gigante a excavar, es necesario hacer estudios más profundos de los efectos de las explosiones nucleares y la seguridad de las mismas.

Excavación de un canal a nivel

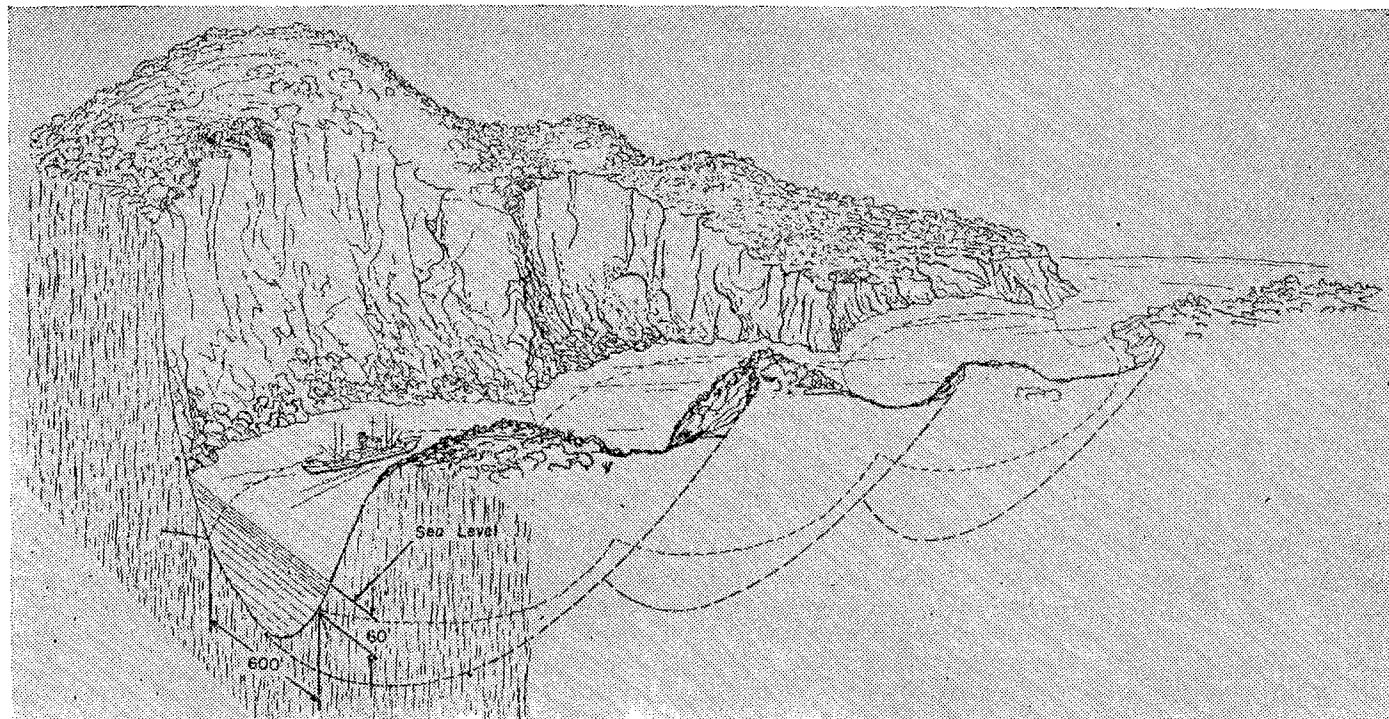
Uno de los más interesantes, o por lo menos, el más espectacular de los muchos usos pacíficos de las explosiones nucleares es la excavación de un canal a nivel. Hasta ahora esa posibilidad ha estado limitada a la vecindad del Canal de Panamá. Más recientes estudios han ampliado los horizontes a distintas regiones, en las que se puede llevar a cabo esa gran obra. Nicaragua es una de ellas.

Conceptos fundamentales

Los conceptos fundamentales que rigen

la construcción de un canal por medio de explosivos nucleares, son los siguientes: Primero, que solamente un canal a nivel puede tomarse en consideración. Un canal con esclusas está fuera de la cuestión porque en el lugar de las esclusas los fundamentos rocosos quedarán muy anchos, muy hondos y muy débiles para ellas. Segundo, los explosivos nucleares deberán usarse para excavar el canal completamente, no para sólo romper la roca. En excavaciones convencionales, la principal función de los explosivos químicos es romper el material para removerlo después más fácilmente. El costo de la remoción, —la carga, el acarreo y el descargue,— es mucho mayor que el de los explosivos mismos. Si se usan explosivos nucleares en la misma forma, no se obtiene ninguna ventaja. Realmente, los explosivos nucleares ofrecen un método completamente diferente. Su verdadero valor está en que pueden remover a la vez el material, ya sea depositándolo a la orilla del cráter o en la atmósfera. Tercero, el rendimiento total de una explosión tiene un límite que depende en la magnitud de la misma y en la cantidad de material que puede lanzarse a la atmósfera. Por lo tanto, en un proyecto de canal no todas las explosiones se harán simultáneamente, mas bien serán hechas de modo que no se exceda del límite.

Y finalmente, el costo de la excavación de un canal por medio de explosivos nucleares es menor que los costos convencionales.



Vista hipotética de una canal a nivel mostrando los sucesivos cráteres de 60' de profundidad por 600' de ancho.