

LAS CIMENTACIONES REALIZADAS CON CAJONES DE AIRE COMPRIMIDO. UNA TECNICA EN TRANCE DE DESAPARECER (*)

Por JESUS L. PRESA SANTOS

Doctor Ingeniero de Caminos.
Director Técnico de KRONSA.

ADOLFO ERASO ROMERO

Licenciado en Ciencias Químicas.
Asesor de Dirección de KRONSA.

No cabe duda que la técnica de ejecución de funciones con el empleo de cajones hincados por el sistema de aire comprimido es una de las técnicas más seguras de cimentación siempre que sea realizable, pero no cabe duda también que es el trabajo que entraña más riesgo en el campo de la construcción, pues produce lesiones permanentes que afectan a partes delicadas del organismo. Esto hace que cada vez sea más difícil disponer de personal que quiera trabajar en estos ambientes, incluso con buenas remuneraciones. Hoy en día se han desarrollado otras técnicas de cimentación que permiten la ejecución de las obras por procedimientos suficientemente seguros, más rápidos y económicos que pueden ser realizados sin estos problemas de personal que antes hemos apuntado. A la vista del proceso de regresión que se está produciendo en esta técnica queremos describir algunos de los trabajos que hemos realizado, indicando los problemas más importantes que nos aparecieron y cómo los resolvimos, por si esto puede servir de aportación al futuro, en el caso de que se lleguen a resolver los inconvenientes de este trabajo en forma económica y segura. Queremos indicar que dedicamos este artículo a los esforzados encargados, capataces, oficiales y peones que dieron muestras en numerosas ocasiones de su valor, pues evidentemente hacía falta a veces derrochar grandes dosis del mismo, además de un gran amor a la empresa. Suponemos que los que lean este artículo conocen la composición de un cajón para ser hincado con aire comprimido. De todas formas diremos que consta esencialmente de una cámara inferior de trabajo, limitada por las cuchillas laterales que se prolongan hacia arriba en los muros cajeros. El techo, que si es de hormigón armado, suele ser una losa maciza o nervada. Esta losa comunica por medio de las chimeneas con las campanas, que son metálicas, y en las que suelen ir los sistemas de descompresión para entrada del personal y de la extracción de detritus, aunque a veces se colocan campanas sólo para este último fin.

PROCESO DE TRABAJO EN ESTA TECNICA Y EXPERIENCIAS MAS INTERESANTES QUE HEMOS DEDUCIDO SOBRE LOS MISMOS

Preparación del terreno.

Los cajones que hemos hincado han sido ejecutados sobre el terreno en el lugar de la hinca. Hemos podido comprobar que para poder realizar un buen desencofrado, que dicho sea de paso es una de las operaciones más difíciles y peligrosas, sobre todo en cajones de gran superficie, es fundamental realizar una cuidadosa preparación del terreno sobre el que se ha de construir el cajón.

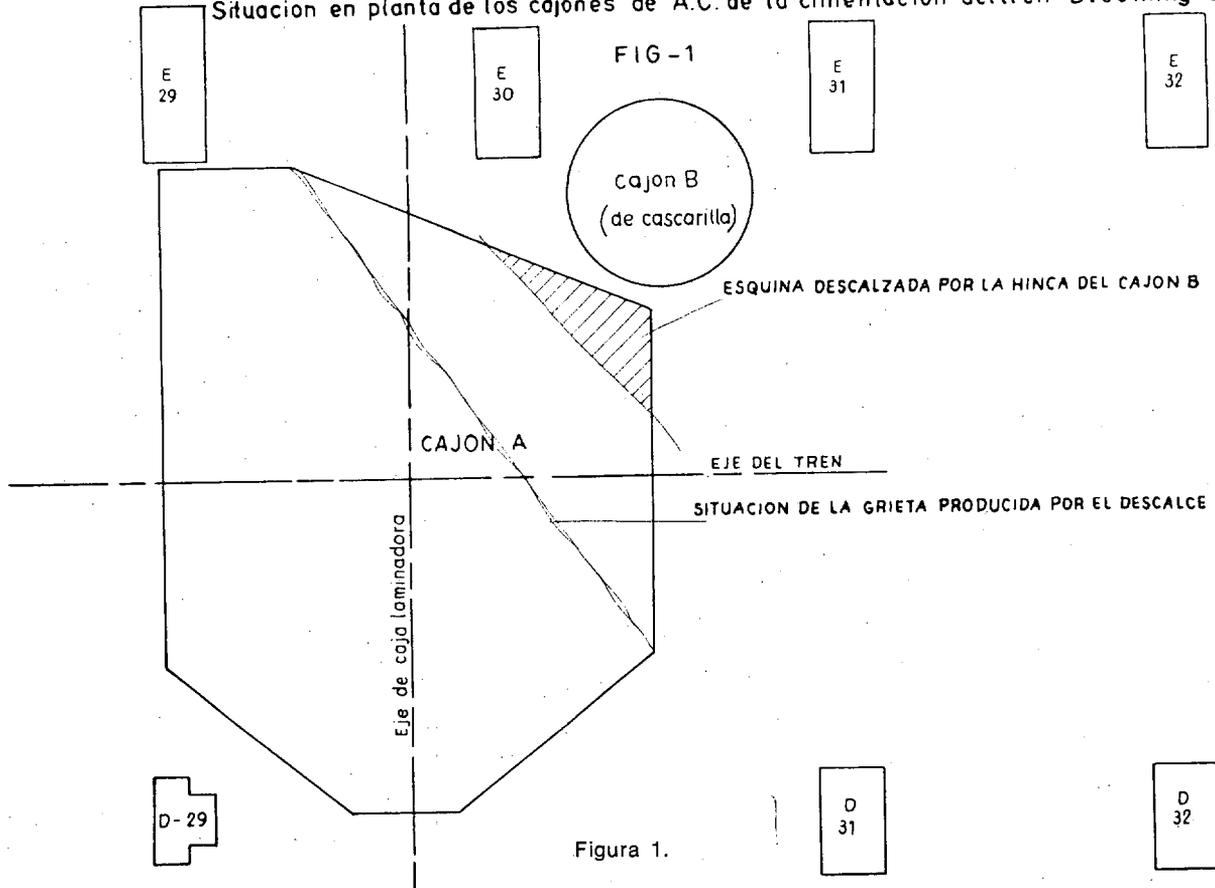
Sea en tierra firme o en isla artificial se ha de ejecutar un relleno a poder ser granular, compactado, de espesor suficiente, que forme

la plataforma de trabajo, a fin de que los asientos iniciales al desencofrar sean lo menor y más uniformes posibles.

Si el relleno es en isla, éste deberá estar perfectamente protegido de avenidas que puedan producirse hasta que el cajón esté hincado por debajo del fondo del río, pues los descalces son muy peligrosos y difíciles de tratar si es que como consecuencia de los mismos el cajón no se parte o arruina, lo que suele ocurrir en la mayoría de los casos.

La experiencia que nosotros tenemos es de una rotura que se produjo en un gran cajón de dimensiones 18 x 24 m., en el que una esquina se vio afectada por la hinca de cajón próximo, en el que se produjo el fenómeno de sifonamiento del que luego hablaremos, el cual descalzó aquella esquina (fig. 1), y estando el cajón afectado ya desentibado se produjo una grieta que abarcó todo el cajón, siendo nece-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 31 de octubre de 1970.



sario reforzarlo con una red de cables postensados (foto 1).

El refuerzo se hizo por medio de cables compuestos de 3 cordones de 12 hilos cada uno, los cuales se colocaron paralelamente al techo de la cámara de trabajo y a unos 20 cm. de la



Foto 1.— Refuerzo del cajón agrietado por efecto de la socavación producida por la hinca de otro cajón antiguo.

misma, quedando empotrados en la parte alta de las cuchillas. Para la ejecución de estos empotramientos se realizaron sondeos de $\varnothing 75$ milímetros, distribuidos en todo el perímetro y en dos direcciones y en distinto plano una de la otra.

Se calcularon considerando que la esquina descalzada estaba en vano, aunque ésta fue recalzada previamente al trabajo, y una vez iniciada la hinca, el cajón tendría un estado de tensiones en la armadura inferior a la losa que confinaba la cámara de trabajo, más favorable que el cajón recién desentibado por efecto del empuje del aire comprimido.

Los cables se tensaron para una carga de 9000 Kg./cm.^2 , y los conos de anclaje se apoyaron sobre placas de 20 mm. de espesor que se colocaron sobre cajetines tallados en el hormigón (foto 1). Durante el proceso de hinca este refuerzo actuó perfectamente.

En otro de los cajones, para la obra de un puente sobre el río Pisuerga, en Valladolid, realizado sobre una isla artificial, una riada prematura produjo el descalce de una de las esquinas (foto 2); como el cajón era estrecho y no muy largo, por lo que actuaba como una viga de gran inercia, se produjo un giro, hundiéndose

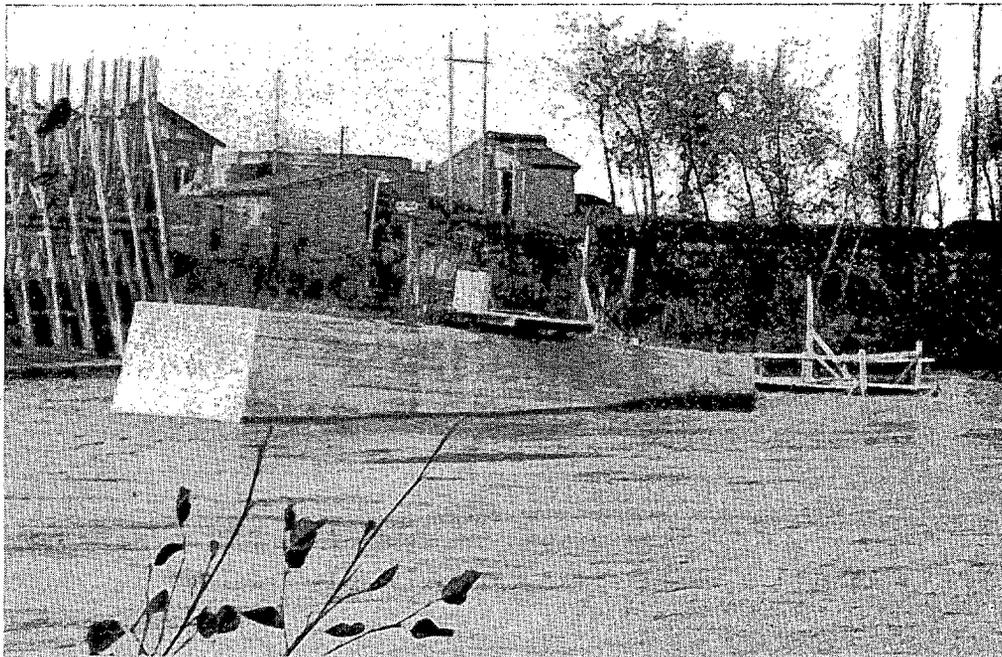


Foto 2. — Hinka de cajones de aire comprimido sobre el río Pisuega, en Valladolid. Aspecto del cajón inclinado por efecto de socavación producido por la riada.

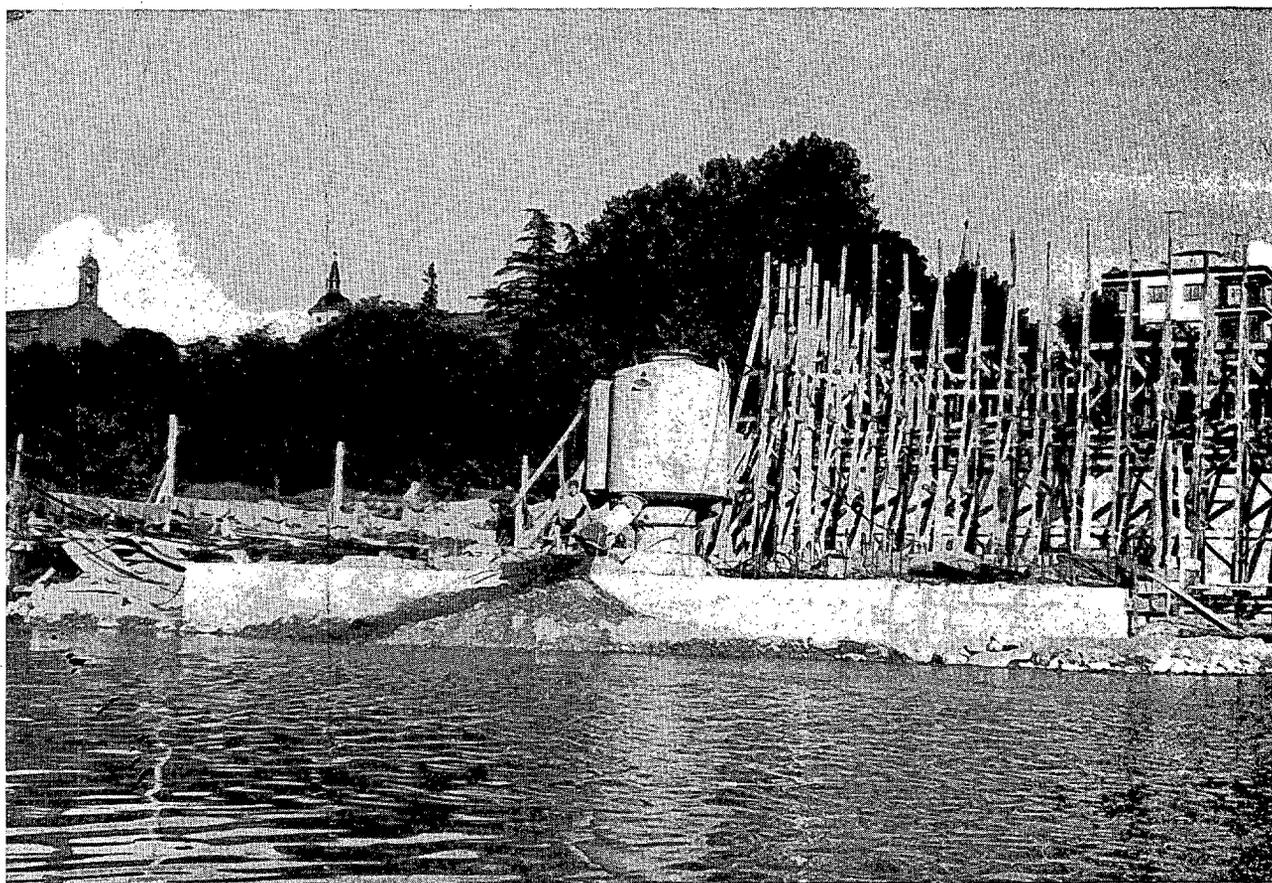


Foto 3. — Hinka de cajones de aire comprimido sobre el río Pisuega, Valladolid. Fase de hinka del cajón una vez enderezado.

una esquina y levantándose la otra peligrosamente; se intentó recalzar la esquina por medio de hombres ranas y enderezar el cajón por fuera, pero las riadas sucesivas hicieron este trabajo poco eficaz, por lo que fue necesario cuando bajó el nivel de las aguas proceder por dentro al taponamiento de la esquina descalzada por medio de sacos rellenos de arcilla y nivelar el cajón excavando en las otras zonas de cuchillas con más de medio metro de agua y, como es lógico, sin aire comprimido hasta que se consiguió colocar el cajón lo suficientemente nivelado e hincado como para permitir la introducción del aire comprimido, con lo que la hinca se prosiguió sin novedad (foto 3). Estas difíciles operaciones nos aconsejan que cuando el peligro de descalce sea grande a que debemos proteger estas islas artificiales con tablestacas metálicas.

éstos si es necesario de una camada de tablo- nes cruzados. Sin embargo, éste no es el problema más difícil, pues el desencofrado, si los cajones son grandes, presenta las mayores dificultades; con objeto de que esta operación resulte más fácil se suele colocar cuñas y contra- cuñas arriba y abajo de los puntales, las cuales se pueden ir aflojando a medida que se realiza el desentibado. Hay quien suele recomendar ca- jas de arena en la base de los pilares, pero la humedad que suele haber donde se realizan es- tos trabajos impide que la arena corra uniformemente en todos los puntales.

Azuches, ferralla y hormigonado de la estructura del cajón.

Los azuches de chapa envolverán las cuchillas, debiendo tener un espesor mínimo de 10 mi-

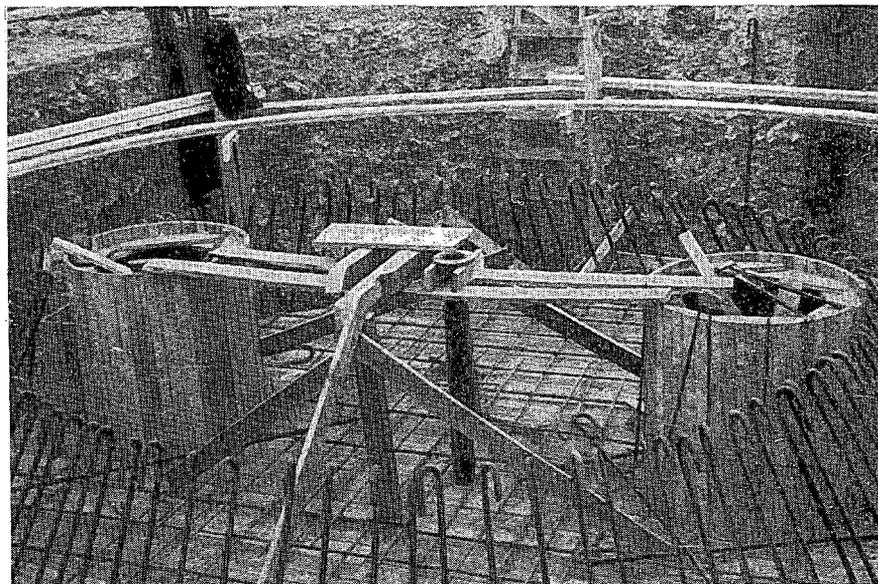


Foto 4. — Encofrado y ferralla de una cámara de trabajo.

Encofrado y entibación.

El encofrado debe realizarse con cuidado, debiendo calcularse la entibación, pues el peso del hormigón suele ser muy considerable y el terreno sobre el que se debe de apoyar no suele ser de buena calidad, además, normalmente, las cuchillas tienen un mejor apoyo, por lo que el reparto de cargas en cuchillas y en los puntales debe ser el mismo, disponiendo debajo de

límetros y una altura de 0,50 m. en el caso de tener que emplear dinamita. Si los terrenos son arenosos, y para evitar sifonamientos el trasdós, debe terminar en una chapa que profundice por debajo de la cuchilla.

La ferralla deberá calcularse sobre dimen- sionada, teniendo en cuenta coeficientes de ba- lastro diferentes en las distintas zonas de apoyo del cajón; siempre se calculará en los casos más desfavorables que puedan producirse du-

rante el desencofrado y, por consiguiente, sin empuje de aire comprimido. Deberá proyectarse un programa de desentibado de acuerdo con el armado del cajón (foto 4).

El hormigonado debe de realizarse procurando distribuir el peso lo más uniformemente posible; es decir, si la losa superior a la cámara de trabajo es muy espesa se realizará por tongadas, procurando hacerlo rápidamente para que el hormigón de cada tongada esté fresco al echar el de la siguiente; de todas formas, en el armado se tendrá en cuenta estos factores con objeto de compensar la adherencia. A medida que se hinca el cajón se comprueban los niveles correspondientes de los muros perimetrales.

Desencofrado y desentibado.

Las operaciones de desentibado deben de ser estudiadas previamente, sobre todo si el cajón es grande, pues durante su proceso se somete a la estructura del cajón a esfuerzos que si no se prevén pueden indiscutiblemente romperlo. Normalmente se comienza aflojando los puntales del centro y las cuchillas, clareando los mismos, dejando los más flexibles, pero llega un momento en que la sobrecarga sobre cada puntal es tan grande que comienzan a producirse las roturas; es muy conveniente que la madera no se parta bruscamente como lo hace el pino, sino que se astille sin saltar, debiendo mejor estar verde y tener pequeño diámetro; son mejores las maderas del tipo del álamo o incluso eucalipto. Cuando comienza la rotura de puntales es conveniente que el personal salga de la cámara de trabajo, pues algún palo pudiera herirlo; se suele producir la rotura de los palos hasta que las cuchillas del cajón entren en carga; cuando esto ocurre puede procederse a la retirada total de la madera.

Excavación.

En realidad, donde se necesita el conocimiento profundo de la técnica es en la excavación. No cabe duda que según los terrenos es necesario aplicar diferentes técnicas, pues el trabajo es peligroso y pueden ocurrir accidentes graves; a veces hay que dominar cajones que pesan más de 1 500 y 2 000 Tn., los cuales

hay que hincarlos manejando presiones y caudales de aire y excavando debajo de las cuchillas controlando el hundimiento.

Normalmente se inicia la excavación sin el empleo de aire comprimido; es decir, como cajón indio. Debido a que la cámara de trabajo suele tener una altura máxima de 2,50 m., si el terreno es blando se producirá rápidamente una hinca de las cuchillas tal que obligue a introducir el aire comprimido para mantener el cajón. Otro de los factores determinados es el agua; al llegar al nivel freático, si el terreno es fangoso, se excava difícilmente, pues se pega a la herramienta, y si es arenoso se producen sifonamientos durante el agotamiento, lo que obliga a introducir también el aire comprimido; que, por otra parte, deja el terreno seco, haciendo más fáciles las operaciones de excavación.

En cuanto a las necesidades de aire comprimido, en terrenos arenosos hay que vigilar la presión hasta que se produce la expulsión del agua de la cámara de trabajo; cuando el agua queda en el interior a nivel inferior de las cuchillas se produce el escape del aire por debajo de aquéllas, estableciéndose un equilibrio entre la presión interior y la altura del agua desde las cuchillas hasta el nivel freático; es conveniente limitar el caudal al mínimo indispensable, pues aunque entre más aire no se consiguen mejores condiciones de trabajo, escapándose el sobrante sin utilidad, salvo si se requiere la lubricación que produce entre el cajón y el terreno que a veces suele ser conveniente para facilitar el descenso.

Si el terreno es arcilloso hay que controlar siempre la presión, debiendo comprobar el funcionamiento de las válvulas de seguridad, pues el cierre entre el cajón y el terreno suele ser lo suficientemente, estando como para permitir que la presión suba en el interior de la cámara innecesaria y a veces peligrosamente.

Una vez introducido el aire no suele ser conveniente quitarlo, sobre todo si el terreno es arenoso, pues al hacerlo se producen sifonamientos que aumentan la excavación y desequilibran el terreno colindante.

A medida que el cajón se va hincando es necesario aumentar la presión del aire con el fin de contrarrestar el empuje hidrostático del agua exterior; esto a veces obliga, si el cajón no tiene peso suficiente, a lastrarlo, llenando el recinto con agua, hormigón, etc. Si el cajón debe de quedar apoyado en terrenos tales como are-

nas densas o gravas se suele "clavar" dando un "boquillazo", que consiste, una vez que el personal está fuera, en sacar el aire de golpe abriendo alguna compuerta o boquilla, debiendo tener en estos casos mucho cuidado con los sifonamientos. Para evitar éstos, en gran parte se suele disponer en la cuchilla de una chapa vertical que durante la hinca se va clavando en el terreno por delante de la excavación.

La operación más difícil de la hinca de cajones con aire comprimido se produce cuando hay que apoyarlos en roca y ésta está inclinada, pues si esta inclinación es grande y la roca es fuerte será necesario emplear dinamita para su excavación.

Es muy importante que el cajón no se incline, pues si esto ocurre puede producirse la salida brusca del aire por una esquina y con ello el peligro de una falsa maniobra que ponga en peligro la vida de algún operario.

Cuando se prevea la presencia del nivel rocoso inclinado es necesario descender el cajón, dejando sin excavar las cuchillas opuestas a la zona de roca más alta (fig. 2), equilibrando con ello la mayor penetración en el terreno blando. Hay que hacer primero las cuchillas de la roca. Si es necesario el empleo de dinamita deberá hacerse por fases; la primera fase consistirá en abrir una zanja frente a la cuchilla de una profundidad de unos 0,60 m. por medio de taladros verticales e inclinados (fig. 1), y a continuación atacar debajo de las cuchillas con taladros situados en un plano horizontal, pero a 45° con relación al plano de las cuchillas.

En los trabajos de este tipo que nosotros hemos realizado hemos empleado dinamita de goma, mecha de agua para un tiempo equivalente al necesario para la salida del personal más unos cinco minutos, ya que una vez el personal en la cámara de descompresión, no existe peligro alguno. Normalmente se ha empleado poca carga por cada barreno, dos cartuchos en la zanja y uno bajo las cuchillas. Nunca hemos dado más de 12 tiros en cada pega. Una vez realizada ésta se ha procedido al desescombrado, rematando con puntero y maza la eliminación de los residuos de roca bajo las cuchillas, a continuación se ha eliminado el terreno en las otras cuchillas sin atacarlo a fondo llevando el descenso del cajón ligeramente más profundo en la zona de roca. En algunos casos, si el rozamiento era grande, se tuvo que recurrir a realizar pequeños "boquillazos" para

provocar el descenso, no llevando nunca el cajón muy lastrado.

Como puede verse todas estas operaciones requieren gran experiencia y conocimiento del terreno, un equipo muy compenetrado y un es-

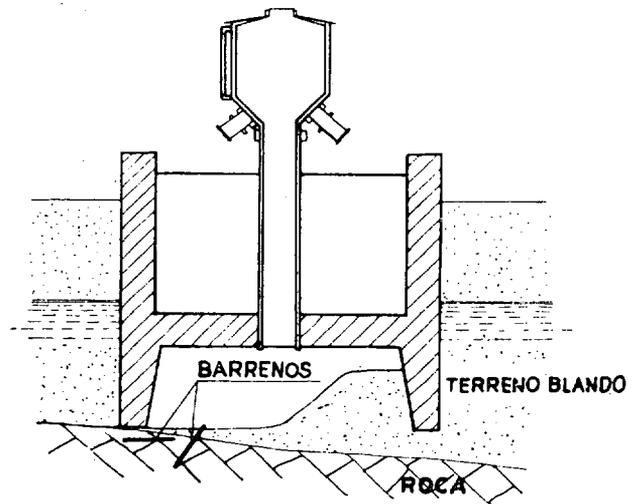


Figura 2.

tudio minucioso de todas las posiciones y situaciones.

En cuanto a equipos de excavación, modernamente se han desarrollado equipos auxiliares tales como "scrapers", carretillas, excavadoras, etc., pero si los cajones no son muy grandes, que es lo normal, un equipo en tres turnos destajado, excavando manualmente suele ser suficiente. En terreno suelto se puede estimar una excavación de 1,5 m.³ por hombre y turno de seis horas hábiles de trabajo.

Hormigonado de la cámara de trabajo.

El hormigonado se realiza a través de esclusas especiales. Debe de realizarse siempre con aire comprimido pues en caso de que penetre agua es muy difícil después de eliminarla. Debido a que se van tapando las fugas de aire a medida que se realiza el hormigonado es necesario vigilar rigurosamente, y por persona de toda confianza, la presión del aire. El tiempo necesario para la distribución del hormigón dentro de la cámara debe superar siempre al de entrada de aquél a la misma. Se deben prever bloques o piedras con los que se deben de le-

vantar muretes con objeto de poder acopiar y retacar el hormigón aun que éste con el aire comprimido se seca y fragua muy rápidamente.

Una vez terminado el hormigonado se deberá proceder a la inyección a través de taladros ejecutados en la losa superior de la cámara, con mortero o lechada de cemento, pudiendo proceder después a la retirada de los tubos y campanas.

Necesidades de aire comprimido.

Es necesario disponer de instalaciones de aire comprimido con fuerza eléctrica y compresores de gas-oil, pues hay que asegurar el

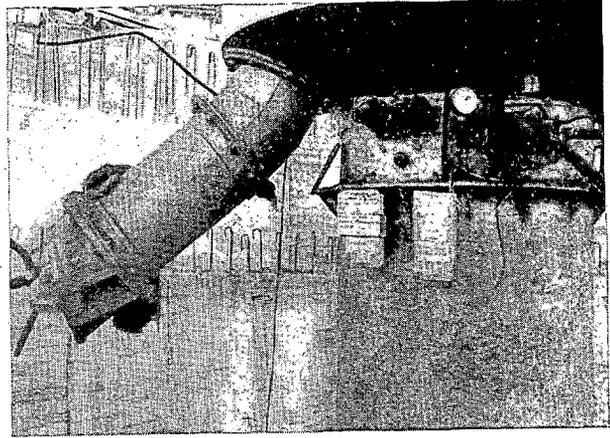


Foto 5. — Sistema de boquilla para extracción de detritus antiguo con apertura hacia afuera ya desechada. Sistema de señales.

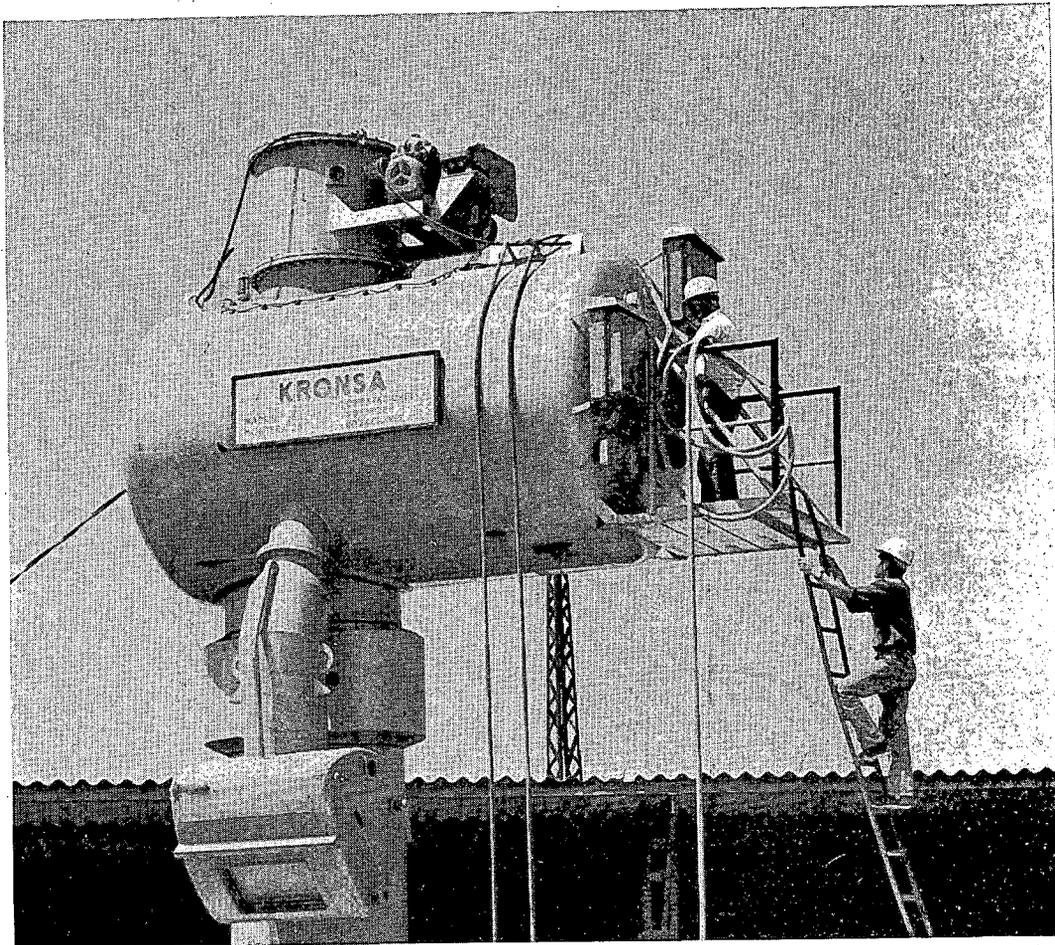


Foto 6. — Campana de aire comprimido con apertura de cierre de descarga hacia el interior en contraposición con la trampilla interior.

abastecimiento de aire. Como es lógico deberá comprobarse a diario el funcionamiento de estos compresores.

Aunque teóricamente una vez expulsada el agua, el aire comprimido necesario es el correspondiente a las fugas a través de juntas de tubos, campana, válvulas, etc.; sin embargo, y sobre todo en terrenos permeables, se consigue un terreno más seco y con ello más fácil de trabajar, produciendo una ligera fuga del mismo por debajo de las cuchillas. Parar una excavación máxima de 15 m. bajo el agua damos como cifra práctica de 2 HP por ml. de cuchilla del cajón.

Equipo.

Las campanas, si son mixtas de personal y material, deberán disponer los medidores de presión (manómetros de interior) en perfecto funcionamiento. Asimismo se deberán disponer de relojes de tiempo, comunicaciones telefónicas y con timbres o luces con código de señales convenido y aprendido, entre el exterior, la cámara de descompresión, el interior de la campana y cámara de trabajo. De todas formas normalmente los operarios utilizan el código de señales por golpes quizá heredado de los que



Foto 7.—Hinca de cajones de aire comprimido. Central térmica de Huelva.

trabajan en los astilleros. Este código es válido, pero a condición de que la boquilla de detritus del exterior de la campana se abra hacia adentro, pues la mayor equivocación que puede producirse es la de que estando abierta la boquilla del interior por una señal falsa se abra la exterior (foto 5), con lo que se produce el "boquillazo" que, con personal en la cámara de trabajo, puede resultar mortal. Esta condición es prescriptiva en las campanas modernas (fotos 6 y 7).

Para presiones altas debe de haber una cámara auxiliar de descompresión, aunque si es buena la de la campana puede ser suficiente.

Accidentes y enfermedades.

Aparte de los accidentes que las falsas maniobras pueden ocasionar y que suelen ser muchas veces mortales se producen otros tipos de accidentes que son de gran importancia, sobre todo si permanecen en el trabajador.

Desde luego el reconocimiento previo para estos trabajos debe de ser riguroso, sobre todo comprobando si existen defectos circulatorios.

Normalmente los operarios, debido a su incultura y mal entendida hombría, no atienden a los tiempos y proceso de compresión y descompresión y no tienen en cuenta catarros o trastornos respiratorios que pueden producir trastornos en el sistema de compensación de presiones del oído, con lo que tarde o temprano los tímpanos se rompen; podemos decir que todos los que han trabajado en aire comprimido tienen los tímpanos deteriorados.

Otras enfermedades, tales como la acumulación de nitrógeno en la sangre, producen desequilibrios muy importantes y estado delicado de salud, que se acentúa al cabo de los años. Es difícil después diagnosticar algunas enfermedades, ya que esta circunstancia, si no es conocida por el médico, puede conducir a estados patológicos algo similares a enfermedades más comunes, equivocando con ello el tratamiento. Confiamos, sin embargo, que gracias a las múltiples experiencias que se están realizando en trabajos subacuáticos se lleguen a conocer las influencias que estos ambientes producen en el cuerpo humano y con ello se consiga una medicina especializada capaz de eliminar o, al menos aliviar, las molestias que periódicamente suelen sufrir estos trabajadores.