



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"
INGENIERIA CIVIL

**UTILIZACION DE CONCRETO LANZADO EN
LAS OBRAS CIVILES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
VICTOR M. ROMERO NAVARRETE

M-0028747



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES :

ELADIO ROMERO SUAZO
IRMA NAVARRETE CADENA

A MIS HERMANOS :

ELADIO
ORLANDO
TOMAS
LUIS

A MI ESPOSA :

MARCELINA SOSA DE ROMERO

A MIS HIJOS :

COHINTA IRMA

ANA LAURA

AL ING. LEONARDO ALVAREZ LEON
POR SU VALIOSA AYUDA A LO LARGO DE LA CARRERA,
Y SOBRE TODO PARA LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

A MIS MAESTROS.

A MIS FAMILIARES, AMIGOS Y COMPAÑEROS.

P R E A M B U L O

La ingeniería, esencialmente es una ciencia de ámbitos extensos, cuyo fin principal es crear; entre esas creaciones están los dispositivos tangibles como estructuras y procesos, y - muchos otros objetos tan ligados y que tan profundamente intervienen en nuestra vida diaria.

Los problemas que de esto surgen, los resuelven los ingenieros mediante la aplicación de sus conocimientos (Ciencia y Técnica), su habilidad especial, y desde luego su criterio particular que es fundamental para la resolución de los mismos.

El científico investiga y descubre lo que existe y el ingeniero es la continuidad para desarrollar y ejecutar los resultados del trabajo del científico. De no existir la ingeniería, la humanidad quedaría desheredada de los beneficios de la Ciencia.

La ingeniería civil que es tan amplia, ya que es no solo la encargada de planear, diseñar, construir y conservar todas aquellas obras ligadas con el transporte a través de carreteras ferrocarriles, vías fluviales ó marítimas; así mismo las obras relacionadas con el control de las corrientes de agua, almacenamiento, aprovisionamiento, drenaje, riego, tratamiento de las mismas, etc.; sino que también juega un papel muy importante en la sociedad como unificadora a través de todo aquello que en obra material necesita el hombre para su bienestar, seguridad y comodidad.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	PAGINA
Capítulo I	
<u>GENERALIDADES</u>	
I.A .- Antecedentes	2
I.B .- El Concreto Lanzado como Sistema	5
I.C .- Teoría, Práctica y Evaluaciones	6
I.D .- Características	11
Capítulo II	
<u>DISEÑO DE CONCRETO LANZADO</u>	
II.A .- Equipos y Procedimientos	14
II.B .- Medidas de Seguridad	25
II.C .- Materiales y Mezclas	26
II.D .- Especificaciones	28
Capítulo III	
<u>PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO</u>	
III.A.- Propiedades del Concreto Lanzado, Ligero y Pesado.	31
III.B.- Resistencia y Durabilidad	34
III.C.- Contracción y Permeabilidad	37

Capítulo IV

CONTROL DE CALIDAD

IV.A .- Muestreo	39
IV.B .- Ensayes	41
IV.C .- Inspección	43

Capítulo V

DESARROLLO TECNICO

V.A .- El Robot	46
V.B .- El Trixer	49
V.C .- El Robot-Trixer	51
V.D .- El Blasmixer	52
V.E .- Lanzado Automático	53
V.F .- Acelerantes y Bombas Dosificadoras	54

Capítulo VI

APLICACIONES PRACTICAS, MEXICO Y OTROS PAISES

VI.A .- México	57
VI.B .- Colombia	71
VI.C .- Perú	72
VI.D .- Panamá	72

CONCLUSIONES	75
--------------------	----

BIBLIOGRAFIA	77
--------------------	----

INTRODUCCION

El tema que aquí se pone a la consideración, nace de la inquietud por conocer mas a fondo el comportamiento y características del concreto, particularmente en ésta condición y además teniendo en cuenta que, es un elemento que desempeña una función - muy importante en todas las obras civiles.

Este trabajo está enfocado al Concreto Lanzado, con el propósito de conocer y dar a conocer los sistemas y métodos que han revolucionado la utilización de éste, en base a las experiencias de los hombres que han dedicado parte de su existencia en ello.- Por ésto se llevó a cabo ésta compilación de datos para enterar y despertar el interés al ingeniero civil de los problemas que se pueden resolver durante la construcción de obras de gran envergadura.

A pesar de que haya puntos muy expuestos anteriormente en otros trabajos, en el desarrollo de éste se trata de encontrar el interés que deben tenerlo todos. Ya que el presente no pretende ser un tratado de concreto aplicado a las obras civiles, sino que se intenta guiados por el afán de estudio que alguno de éstos aspectos pudieran servir en determinado momento como información y si es posible como apoyo en la aplicación del concreto -- lanzado.

C A P I T U L O P R I M E R O

GENERALIDADES

- A) Antecedentes
- B) El concreto lanzado como sistema
- C) Teoría, práctica y evaluaciones
- D) Características

ANTECEDENTES

Se denomina "Concreto Lanzado" a cualquier forma de mortero ó concreto aplicado neumáticamente. El procedimiento consiste en la aplicación de concreto mediante máquinas llamadas "lanzadoras"; el cemento y los agregados se mezclan separadamente, en seco ó húmedos y éstos son lanzados a presión neumática a través de una manguera de lanzamiento; la aplicación del agua que también es a presión, es mediante la adición de otra manguera en el extremo de ésta, tratándose el caso de la mezcla seca.

El principio de la máquina lanzadora de concreto, fué inventada en 1907 por Carl B. Akeley del Museo de Historia Natural -- Americano. El aparato que inventó fué resultado de sus experimentos en la construcción de estructuras para los especímenes diseccionados. Los esqueletos se formaban rociando yeso en una estructura de metal con la forma deseada. Akeley concluyó que su aparato se adaptaba mejor a la aplicación de mortero. En tres años el -- aparato fué mejorado por la Cement Gun Company, Allenton, Pensilvania, y fué patentado en 1910 por Byron C. Collier presidente de la firma; de ahí el nombre de "gunita" en los Estados Unidos de Norteamérica.

Una de las primeras aplicaciones en gran escala de la gunita, fué en la construcción de los últimos metros de la Gran Central Station en el Metro de Nueva York, donde un área de 545 mil metros cuadrados fué recubierta antes de la terminación del trabajo en 1918. Como la aplicación del concreto lanzado en gran es principalmente en túneles; fué en 1915 cuando tuvo su primera -- aplicación en la explotación de minas, en la mina experimental de Brucestown explotada por el U.S. Bureau of Mines, próxima a la ciudad de Pittsburg.

Además de su gran importancia en los trabajos de túneles, -- el concreto lanzado puede ser aplicado en:

- 1.- Reparación de estructuras de concreto dañadas como puentes, revestimientos de tanques, presas, torres de enfriamiento, chimeneas y estructuras marítimas, mamposterías dañadas por sismos ó incendios, silos.
- 2.- Estructuras nuevas como techos, paredes, tanques preesforzados, recipientes, albercas, alcantarillas de aguas negras y revestimientos en lumbreras ó tiros.

- 3.- Como refuerzo de estructuras de concreto tales como losas, muros de concreto y mampostería, bóvedas de ladrillo.
- 4.- Como recubrimiento de acero estructural para proporcionar resistencia al fuego y proteger su propia capacidad de resistencia.
- 5.- Estabilización de taludes y excavaciones subterráneas, construcción de bóvedas, canales, cascarones, etc.

El concreto lanzado puede aplicarse sobre superficies planas ó irregulares, secas ó húmedas, resistentes (roca sana) ó relativamente débiles (suelos); lo único que se necesita para ello es - que la superficie posea cierta rigidez para soportar el impacto - sin deformarse y determinadas características de composición para no deteriorarse superficialmente por el mismo efecto.

Esto es en base a que se ha demostrado que el concreto lanzado tiene una resistencia y una durabilidad igual ó mayor que el - concreto hidráulico colado. El concreto lanzado es de hecho un -- concreto estructural, durable, resistente y prácticamente imper--meable; la relación agua-cemento empleada está comprendida entre- 0.35 y 0.50. El contenido de arena en la mezcla normalmente es es mayor que el de la grava. En general, puede decirse que, el con--creto lanzado, como se dijo anteriormente, posee características--similares ó superiores a las que presenta un concreto convencio--nal de la misma composición.

El equipo que se utiliza para la aplicación del concreto lanzado incluye: la máquina, un compresor de aire, y una fuente de - abastecimiento de agua. Esto demanda un área de trabajo relativa--mente pequeña. El concreto lanzado no necesita botes, grúas, ca--miones revolvedores, ó equipo similar; con lo cual su espacio de--operación es relativamente reducido y su interferencia con otras--actividades resulta mínima.

Se utilizan actualmente dos procedimientos diferentes para - la aplicación del concreto lanzado:

- a).- Proceso seco (proceso de mezcla seca), que es prácticamente el único que se utiliza en túneles; en éste, el cemento y - el agregado parcialmente húmedo son mezclados íntimamente e introducidos a un alimentador mecánico; de aquí, la mezcla--seca es transferida a una tubería flexible por la cual cir--cula una corriente de aire comprimido que conduce los mate--

riales mezclados hasta la boquilla lanzadora. La boquilla tiene adaptada una tubería con varias perforaciones, a través de la cual se introduce agua a presión. Al pasar la mezcla de agregado-cemento por la boquilla, se combina con el agua y el concreto es lanzado a alta velocidad contra la superficie.

b).- Proceso húmedo (proceso de mezcla húmeda), consiste en que todos los ingredientes, incluyendo el agua se mezclan completamente; el concreto se introduce en la cámara del equipo alimentador, y la mezcla pasa a la manguera alimentadora y es conducida por aire comprimido, ó por otro medio a la boquilla. Se inyecta aire adicional a la boquilla para incrementar la velocidad y mejorar la trayectoria del chorro, y así el concreto es lanzado sobre la superficie que se está tratando. No todo el concreto que es lanzado por la boquilla se adhiere a la superficie; aquella parte de la mezcla que se cae al chocar con cualquier obstrucción (roca, acero de refuerzo, agregados ya adheridos, etc.), se denomina "Rebote".

EL CONCRETO LANZADO COMO SISTEMA.

La experiencia previa en el uso del concreto lanzado en roca suave y descompuesta, a principio de los años sesenta enseñó que los resultados prácticos estaban en conflicto fuertemente con todas las teorías y los conceptos existentes de mecánica de rocas - conocidos hasta entonces.

Los resultados obtenidos en los años siguientes, en la India, Zambia, México, Colombia, Panamá y Perú, fortaleció una convicción al respecto. La mayoría de las teorías de mecánica de rocas consideradas sagradas por más de medio siglo, demostraron ser incompatibles con la experiencia actual, en el caso único de la construcción de túneles. Estas experiencias han conducido a una forma de pensar totalmente nueva y diferente con relación a la interacción entre un túnel y el macizo rocoso. Los chinos dicen que una presa debe estar "casada" al terreno en el cual se erige. Aún más, un túnel debe armonizar con la roca dentro de la cual ha sido excavado. La necesidad de ésta armonía es particularmente importante en la relación entre roca y soporte de túneles.

Siendo la roca uno de los elementos naturales más resistentes a los esfuerzos; durante mucho tiempo fué mal entendida y mal tratada por los diseñadores de túneles, debido a su aparente resistencia. Actualmente se ha logrado hacer de la roca una aliada para que trabaje junto con el diseñador; es decir, la roca proporciona los músculos en ésta cooperación, y los ingenieros deben proponerse suministrar el cerebro.

El concreto lanzado no debería ser considerado nunca como una parte simple y separada en el proceso de excavación de un túnel. Debe ser considerado como un elemento nuevo de técnicas revolucionarias. Dada su gran importancia en túneles; los austriacos han llamado al sistema NATM que significa el "Nuevo Método Austriaco de Construcción de Túneles". Los suecos lo han llamado SPS es decir, "Sistema Sueco de Tuneleo". Debemos decir que es un método completo de tuneleo en el cual los medios de excavación, la estabilización del terreno, el soporte primario y con frecuencia el revestimiento definitivo, están todos integrados en éste; y uno de los componentes principales en éste sistema es el concreto lanzado.

TEORIA, PRACTICA Y EVALUACIONES.

El método se relaciona con las previsiones de seguridad y economía en los sistemas de soporte de túneles, recubrimientos en lumbreras y cavidades subterráneas en terrenos incapaces de autosoportarse; tales terrenos incluyen roca fragmentada ó descompuesta, debris y suelos. El soporte debe alcanzarse conservando y captando cualquier resistencia que la roca ó suelo posean.

Los diversos métodos de excavación mediante explosivos, topos ó rompedoras neumáticas, están dirigidos hacia un propósito básico que no es parte del método de soporte. Así mismo el método de excavación de frentes múltiples ó banqueo, no afecta el método de soporte, siempre y cuando no cause retrasos intolerables que originen el deterioro ó aflojamiento de la roca ó la abertura de las juntas debido a las presiones intersticiales.

Se tiene que decir que el objetivo principal del concreto lanzado no es funcionar como único soporte del túnel, sino integrar y emplear la roca circundante que es incapáz de funcionar como una estructura autosoportante. En tales condiciones no es el concreto lanzado, sino la propia roca la que tiene que absorber la carga principal de las presiones existentes en la roca.

Es preciso denotar que las diversas experiencias recogidas en varias partes del mundo y actualmente aquí en México, han demostrado que el concreto lanzado puede abatir grandemente el costo de la obra, reduciendo en forma notable el tiempo de ejecución; ésto es si es aplicado adecuadamente pegándose a las especificaciones de los métodos y en función de la obra por realizar.

Una relajación de la presión de la roca en la interfase roca-túnel se ocasiona intencionalmente a través de una deformación controlada de la masa de la roca. El concreto lanzado se adapta a éste concepto, y se puede colocar casi instantáneamente después de la excavación y, trabajando íntimamente con la roca; el concreto lanzado fresco sigue los movimientos primarios de la roca. De éste modo permite que se lleve a cabo una deformación suficiente en la masa de la roca para así lograr una reducción de los esfuerzos de borde, a medida que simultáneamente crece su resistencia.

La magnitud de la deformación y el desarrollo de los esfuerzos son controlados por medio de un programa extensivo de mediciones para decidir las medidas de soporte definitivas que deben ser tomadas (N.A.T.M.). Sin embargo, para que éstas mediciones sean de utilidad, la roca debe ser, en grandes extensiones, monolítica, isotrópica y homogénea. Estas condiciones son a veces cumplidas en los tipos de roca que se encuentran en depósitos sedimentarios, tales como toba, conglomerado, arena, limo, arcilla, etc. Durante el proyecto del Emisor Central en la Ciudad de México, se realizaron una serie de mediciones en las deformaciones de toba de la lumbrera cero, para encontrar los esfuerzos que podrían ser esperados durante excavaciones posteriores; con éste propósito se usaron celdas Glötzl que fueron embebidas en el concreto lanzado tanto radial como tangencialmente a la superficie de la roca. Los instrumentos fueron instalados en la unión de los túneles interceptores y el Emisor Central. Debe notarse que ésta unión fué excavada en cenizas volcánicas suaves y húmedas, con una resistencia a la compresión entre 5 y 12 kg/cm² (0.5 y 1.2 Mpa.) la cual fué posteriormente debilitada por una gruesa capa de arena suelta que cruzaba.

Las presiones de revestimiento medidas en el concreto lanzado fueron considerablemente grandes, pues alcanzaron aproximadamente 300 lb/in² (21 kg/cm²) en el intradós del túnel. Debe observarse que los esfuerzos medidos son los esfuerzos de revestimiento locales en el concreto lanzado y los esfuerzos entre la roca y el mismo; es decir, la presión del concreto lanzado contra la roca y el esfuerzo tangencial en el soporte del concreto lanzado respectivamente.

Se han presentado a discusión muchas tentativas para designar tipos de rocas y condiciones que indiquen medios económicos y adecuados de soporte; éstas aproximaciones varían desde crudas simplificaciones prácticas hasta sistemas muy elaborados. En virtud de que la roca dista mucho de ser un material isotrópico, el tipo de roca, su calidad y otras características, combinadas con factores que afectan su resistencia, estabilidad y comportamiento; han sido incorporados en fórmulas, de acuerdo con la supuesta influencia de éstos parámetros. Un típico ejemplo de tal sistema es de hecho la clasificación de rocas de Terzaghi, basada en sus cargas admisibles. Apoyando su trabajo en un sistema de clasificación de rocas de Lauffer, Linder (1963) fué el primero en relacionar el espesor requerido de concreto lanzado con las condiciones de la roca y sus tiempos de aplicación.

Clasificaciones más recientes incluyen sistemas basados en el índice RQD (Rock Quality Designation), fueron presentados por Deere (1963), Cecil (1970) y Merrit (1972).

Un sistema más amplio de clasificación numérica de rocas, combinado con indicaciones de soporte fué dado a conocer por Wickhan (1972) y modificado por Bieniawski (1973).

En la práctica sin embargo, las medidas de soporte son aún raramente determinadas por métodos " racionales ". La experiencia y el sentido común determinan el diseño. Esta aproximación es todavía la más ampliamente usada en Suecia y está basada en la experiencia obtenida durante los últimos cincuenta años de construcción de túneles, y galerías, principalmente para proyectos hidroeléctricos.

Esto puede parecer incongruente con el progreso científico logrado durante las últimas décadas. Sin embargo se ha probado que ésta práctica muy a menudo es la más sana, la más flexible y ciertamente las más económica aproximación al soporte de rocas. Naturalmente, es requisito indispensable que se disponga de ingenieros con experiencia práctica y entrenados de preferencia en problemas geológicos. Puesto que los medios y la extensión del soporte son usualmente decididos conjuntamente por el ingeniero y el contratista; se requiere una cooperación estrecha y un entendimiento completo entre éstas dos partes.

Es una práctica común hacer un registro continuo de las condiciones encontradas en el túnel, directamente después de la excavación y antes de colocar el concreto lanzado (véase figura 1). Las observaciones usualmente incluyen: geología, rocas y condiciones tectónicas e hidrológicas; las medidas preliminares de soporte que deben tomarse son también anotadas. Estos datos son igualmente esenciales en etapas posteriores para decidir si el soporte temporal debe ser suplementado para funcionar como permanente. La mejor experiencia, se deriva de la enseñanza colegida de las fallas. El conocimiento, basado en la práctica, decide entonces si el concreto lanzado dará ó no un buen resultado en roca débil.

La experiencia de la interacción de concreto lanzado y roca en malas condiciones ha sido recolectada de cuarcita, arenisca, conglomerados y aglomerados, brecha, pizarra grafitada, toba, arena, limo, arcilla, carbón y varios tipos de arcillas expansivas como la montmorilonita; en seguida se muestra la tabla 1 referenciando diferentes tipos de roca ó suelo.

INTERCEPTOR CENTRAL

FRENTE: STA. CECILIA

CADENAM.: 0+206 m a CADENAM. 0+209 m.

TUNEL, S.A. DE C.V.

FECHA : 5/9-'69

TRONADO: Muy malo.

1 Agua	Ninguna	Poco hfm.	Hmedo	Muy hmedo		
2 Pureza Roca	I	II	III	IV	V	VI
3 Espaciam. de juntas		15 cm	1/2 m		1 m	
4 Espesor juntas	Cerrado					
5 Contenido juntas	Aire	Calcita	Lodo	Otro		
6 Planos de - juntas	Paralelo		Mayor	Menor		
	Perpendicular		0°/5° N			
7 Condiciones de roca	Caido		Seguro	Muy posible	Possible	
	Lajas entre-techo.			"		
	Lajas en paredes.					
	Piramidales irregular.					
Roca segura a simple vista.						
8 Croquis de todas las características importantes en el frente.	Riolita Alterada		Peligro Caido			
Arena Comp. Media.						
Arcilla Hmeda						
Arena Suelta.						
Arena Compacta con nodulos.						
Toba Arcillosa						
9 Ademe Recomendado	Marcos de acero	Concreto Lanzado	Anclas	Ninguno		
10 Observaciones.	Concreto Lanzado 5" < Techo < 7"		Paredes 4" Acufado hasta 1-2"			

EJEMPLO DE UN REPORTE GEOLOGICO DIARIO. FIGURA 1

TABLA DE FACTOR DE RESISTENCIA. TABLA 1.

CATEG.	GRADO DE RESIST.	NATURALEZA SUELO O ROCA	PESO VOL. $\gamma = \text{kg/m}^3$	RESIST.A COMPRESION. $\sigma_c = \text{kg/cm}^2$	FACTOR DE RESISTENCIA (f)
I	Muy Alta	Cuarcita densa, basalto y rocas sanas de muy alta resist.	2800	2000	20
			3000		
II	Muy Alta	Granito, rocas ígneas calizas y areniscas de alta resistencia	2600	1500	15
			2700		
III	Alta	Granitos y rocas ígneas, areniscas resistentes y calizas conglomerados bien cementados.	2500	1000	10
			2600		
IIIa	Alta	Calizas, granito poco alterado, areniscas sanas, mármol y piritas.	2500	800	8
IV	Modera- damente fuerte.	Areniscas competentes.	2400	600	6
IVa	Modera- damente fuerte.	Areniscas estratificadas.	2300	500	5
V	Media.	Lutitas, areniscas y calizas de baja resistencia, conglomerados mal cementado	2400	400	4
			2800		
Va	Media	Pizarras y esquists. Mármol denso.	2400	300	3
			2600		
VI	Modera- damente suelto.	Pizarras sueltas y calizas muy suaves, yeso, terrenos de deshielo, mármol, areniscas en bloques, gravas y boleos cementados.	2200	200	2
			2600		
VIa	Modera- damente suelto.	Terrenos con gravas pizarras en bloques y fisuradas, gravas y boleos compactos, arcillas duras.	2200	--	1.5
			2400		

TABLA 1.

CATEG.	GRADO DE NATURALEZA SUELO O RESIST.	ROCA	PESO VOL. $\gamma = \text{kg/m}^3$	RESIST.A COMPRESION. $\sigma_c = \text{kg/cm}^2$	FACTOR DE RESISTENCIA (f)
VII	Suelto	Arcillas densas, su ₆ los arcillosos, arenas y gravas con poca cementación.	2000 2200	-.-	1.0
VIIa	Suelto	Gravas, loes, depósitos de arena suelta.	1800 2000	-.-	0.8
VIII	Suelos	Suelos con vegetación, arenas sueltas húmedas, h _u mus.	1600 1800	-.-	0.6
IX	Suelos granulares.	Arenas limpias, gravas finas, rellenos superficiales.	1400 1600	-.-	0.5
X	Suelos plásticos.	Suelos limosos, loes modificados y suelos en condiciones saturadas.	-.-	-.-	0.3

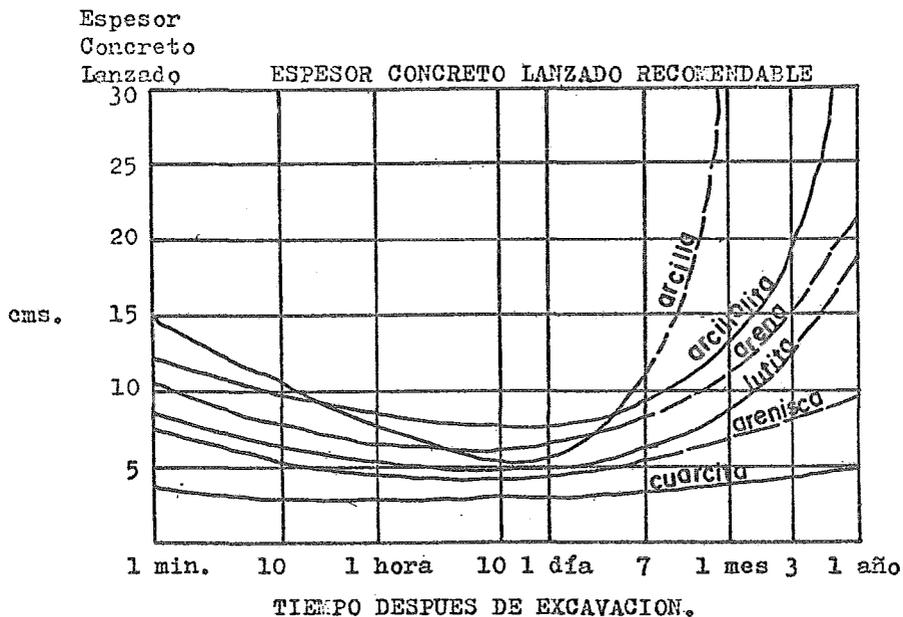
La figura 2 muestra los espesores de concreto lanzado, como una función del tiempo transcurrido entre la excavación de la roca y la aplicación del concreto lanzado, para varios tipos de roca y suelo, para un diámetro de túnel comprendido entre 4- y 5 m. Esta gráfica muestra el comportamiento específico de diferentes tipos de roca, los espesores propuestos y los tiempos de aplicación del concreto lanzado para el tipo de roca que se esté tratando. Las fracturas en el concreto lanzado colocado prematuramente, son casi siempre inevitables. El concreto debe aplicarse preferentemente después de que la roca se haya "relajado" por un lapso de 6 a 10 horas. Como puede verse, la curva para arcillas húmedas es muy pronunciada; la pizarra grafitada, muestra el mismo comportamiento, aunque más lentamente y menos pronunciado; la arena y la arenisca causan menos problemas.

Es correcto que se pretenda llegar a cierta clase de sistematización de criterios de diseño; además debe mencionarse que algunos argumentos están en contra de un demasiado apego a tal criterio (NATM y clasificación de rocas). La roca nunca es un material isotrópico homogéneo; aún cuando se atraviesen masas de roca de la misma composición básica, se encontrarán por cada metro de túnel excavado diferentes propiedades físicas y diversas características de esfuerzo. Tales cambios son en general súbitos e impredecibles; aún pequeñas variaciones en el material ó discontinuidades tales como dislocaciones tectónicas, fisuras, descomposición local, presencia de agua, etc., significan en la práctica que el valor del esfuerzo local ó la medida de la deformación son solamente válidas en esa localización específica.

Mediciones locales como las usadas en el NATM muestran en consecuencia solamente una parte, y en algunos casos ninguna de las condiciones prácticas reales. Abundan ejemplos típicos como en el caso de las riolitas en donde se encuentra que una roca sana está localmente descompuesta por completo, a menudo sin indicación previa. Incrementando la extensión del programa de mediciones interferiría demasiado con la excavación del túnel y sería virtualmente imposible conservar el mismo ritmo de avance del túnel.

El peligro de basarse y ceñirse con demasiado rigor a mediciones y resultados de clasificación es aparente. Por una parte existe el peligro de subdimensionar el soporte y por otro lado, por generalización, existe muy a menudo una tendencia al sobredimensionamiento. De éste modo, el objetivo específico y el carácter del soporte del concreto lanzado son pasados por alto.

ESPESOR RECOMENDADO DE CONCRETO LANZADO COMO FUNCION DEL TIEMPO DE APLICACION DESPUES DE EXCAVACION PARA VARIOS TIPOS DE ROCA Y SUELO. (DIAMETRO TUNEL 4.0 a 5.0 m.)
 FIGURA. 2



Supuestamente, es por ésta razón que el NATM, contrariamente a su propia teoría tiende a combinar en gran medida el concreto lanzado con el uso de pernos, mallas pesadas, refuerzo y aún costillas de acero; lo que es completamente incompatible con el concreto lanzado. La misma reserva es válida para el criterio de clasificación para soporte de rocas (Linder, Barton, otros).

La roca a menudo desafía las hipótesis básicas de los sistemas de clasificación. Un ejemplo típico es que mientras más sea la frecuencia de grietas en la roca, mejor reaccionará ésta como soporte, en combinación con el concreto lanzado.

La brecha entre teoría y práctica nunca podrá ser totalmente cerrada. Las lutitas tienen una consistencia perfecta para el soporte con concreto lanzado; su desventaja es la baja adherencia que se puede lograr entre el concreto lanzado y la roca. Como éste tipo de lutita parece tener una característica elasto-plástica es recomendable (aceptando la existencia de una presión de roca) esperar con el lanzamiento unas 12-24 horas para dar a la roca la posibilidad de descomprimirse. Puesto que la configuración de presiones de roca son más favorables en un pozo vertical que en un túnel horizontal, se puede aceptar un soporte ligero de 5-7 cm de espesor. En el caso de las calizas, en un estado descompuesto y moldeado (caliche) la cohesión es baja, y la infiltración extensiva de agua y humedad natural empeora además las condiciones físicas; y cuando el tiempo de compresión es bajo; es recomendable lanzar inmediatamente después de la excavación una capa primaria para compactarla posteriormente 2-4 m del frente, hasta un espesor necesario.

Esfuerzos combinados y mediciones de deformación, así como la clasificación de rocas pueden dar ciertas indicaciones preliminares de la misma ó de las condiciones del terreno, pero nunca reemplazarán completamente el trabajo de revisión continua de los expertos de túneles. Las decisiones finales con relación al soporte del concreto lanzado, incluyendo el espesor de la capa, los pernos necesarios, etc., deberán hacerse sobre la base de un reconocimiento del túnel metro por metro.

CARACTERISTICAS.

La dependencia en la resistencia de la roca misma para suministrar el soporte necesario no es solamente el objetivo, sino también la primera y fundamental característica del método de soporte.

Aún en roca débil se requiere la completa movilización de su resistencia y en consecuencia la prevención del deterioro de la roca, abertura de grietas y aflojamiento debido a los movimientos excesivos hacia la cavidad del túnel.

El método sin embargo, permitirá y aún favorecerá alguna pequeña cedencia de la roca ó suelo para reducir las medidas de protección necesarias para lograr el soporte. Estas medidas protectoras, que incluyen en caso necesario puntales, así como un sistema de anclaje u otros miembros estructurales que se adhieran directamente a, ó alcancen directamente la roca inestable, se han desarrollado con el método y pueden ser consideradas como segunda característica.

El soporte es entonces suministrado esencialmente por la roca, pero con la necesaria ayuda del concreto lanzado. El axioma de que el refuerzo que proporciona el concreto lanzado debe actuar como una parte integral de la roca y debe activar a la misma para que participe como una parte del soporte es correcta.

Sin embargo frecuentemente se cree, pero definitivamente no siempre es cierto que, el concreto lanzado debe aplicarse tan pronto como sea posible, después de que la roca ha quedado expuesta. Esta regla básica es válida en roca que sea de buena calidad y autosoportante, a condición de que las debilidades tectónicas sean rápidamente resanadas. Las condiciones normalmente son bastantes diferentes en lo que se puede decir "roca suave". La práctica ha enseñado que puede ser benéfico y frecuentemente necesario retardar la aplicación del concreto lanzado, hasta que los esfuerzos iniciales de la roca hayan sido relevados y ciertos movimientos, a menudo claramente visibles, hayan ocurrido.

La filosofía con respecto al refuerzo de un túnel a base de concreto lanzado, particularmente en una roca suave es, brevemente, en no pelear en contra de las fuerzas en la roca sino someterse a ellas, dejándolas que tomen su propio camino, y --- aplicar el remedio cuando su intensidad baja temporalmente, antes de que éstas fuerzas se incrementen nuevamente en el proceso final de ruptura. Podemos llamar a éste proceso cedencia controlada de los movimientos de la roca.

Concluyendo éste capítulo se puede decir que el concreto lanzado ofrece ventajas sobre el concreto convencional en muchos tipos de trabajos de construcción y reparación. El concreto lanzado es frecuentemente más económico que el concreto colado, debido a que necesita menos trabajos de cimbra y requiere solamente una planta portátil para mezclado y colocación en las áreas más inaccesibles.

C A P I T U L O S E G U N D O

DISEÑO DE CONCRETO LANZADO

- A) Equipos y Procedimientos
- B) Medidas de Seguridad
- C) Materiales y Mezclas
- D) Especificaciones

EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS

Máquinas de Lanzado. Una máquina para concreto lanzado es un mecanismo que suministra una cantidad determinada de material granular en una corriente de aire a presión. El suministro de material debe ser proporcionado en forma regular, a un ritmo acorde con el trabajo requerido; el material debe llegar a la boquilla de lanzamiento en forma continua y con velocidad adecuada. Las máquinas de uso más común, son las de tambor rotatorio y las de doble cámara.

Máquina de Doble Cámara; en ésta máquina, la mezcla seca se recibe en la cámara superior en tanto que la compuerta entre cámaras permanece cerrada. Luego se cierra la tapa de admisión de material, se presuriza la cámara superior y se abre la compuerta permitiendo el flujo del material, por gravedad, hacia la cámara inferior. Por medio de una rueda alimentadora ó un dispositivo similar, la mezcla es llevada a la tubería flexible de entrega, donde una corriente de aire a presión lleva el material a la boquilla. Al vaciarse la cámara superior, la compuerta se cierra, se libera la presión en la cámara superior, se introduce una nueva carga de material por la tapa de admisión y el ciclo se repite. Mientras tanto, se mantiene la presión en la cámara inferior consiguiendo así un flujo ininterrumpido de material a la tubería y a la boquilla.

Máquina de Tambor Rotatorio; es una máquina que consta de una tolva de carga, un tambor horizontal con varios compartimientos abiertos en sus extremos que gira entre la base y una placa superior fijas y la tubería de descarga. El material es introducido a la tolva que está a presión atmosférica, donde un agitador mecánico lo disgrega y lo empuja a los compartimientos a través de la perforación de alimentación que está en la placa superior; ésta placa proporciona hermeticidad a los compartimientos del tambor cuando no están abajo de la perforación de la alimentación. El tambor girando, acepta el material y en su camino cada compartimiento recibe por arriba una corriente de aire a presión que lo expulsa del compartimiento y lo coloca en la tubería flexible, por donde circula una corriente de aire que conduce al material a la boquilla lanzadora. Esta máquina asegura una conducción continua de material a pesar de que la tolva de carga está abierta y sin presión.

Las máquinas modernas utilizan un tambor rotatorio con compartimientos en forma de "U". Tienen una placa selladora que cubre aproximadamente el 20 % de la superficie superior del tambor; ésto deja 80 % de la superficie para los compartimientos. Al pasar un compartimiento cargado de material bajo la placa selladora, la parte interna coincide con el cuello de salida. El material es entonces expulsado del compartimiento y conducido por el cuello hacia la tubería flexible de entrega. Este diseño también asegura una conducción continua de material.

En el extremo de la tubería de conducción del material, se encuentra la boquilla, cuya función específica es convertir la corriente entrante de material mezclado en seco en mortero húmedo que fluya dentro de la boquilla y sea expulsado de ella, con una velocidad adecuada hacia la superficie deseada. Al mezclado íntimo del agua y el material en la boquilla, se le conoce en el ramo del concreto lanzado con el nombre de "hidratación"; cuyo sentido es diferente al que tiene la palabra en su significado común, es decir reacción química de agua con cemento. El agua es conducida separadamente a presión, a la boquilla; la presión usual es 1 kg/cm² mayor que la presión de aire en la tubería flexible, a la altura de la boquilla. Las boquillas varían mucho de su diseño y no es conveniente intercambiarlas entre uno y otro tipo de máquina.

Los compresores que se utilicen deben proporcionar suficiente volumen de aire a la presión correcta, ésta no debe presentar fluctuaciones. El aire suministrado a la lanzadora debe de estar seco y libre de aceite. El fabricante proporciona los volúmenes mínimos requeridos del compresor y la presión necesaria para el funcionamiento de las máquinas lanzadoras de concreto. Para longitudes de tubería mayores que las suministradas por el fabricante, la presión deberá incrementarse para contrarrestar las pérdidas correspondientes. La presión normal de funcionamiento (la verdadera presión de aire a la salida de la lanzadora) medida con un manómetro colocado cerca de la salida, es generalmente entre 240 y 280 KN/m², mientras que la presión de alimentación es 550 a 700 KN/m². Las presiones de funcionamiento están relacionadas con la longitud de la manguera y la altura de la boquilla arriba de la lanzadora. Deben incrementarse en aproximadamente 2.2 KN/m² por metro de longitud de manguera y por 4.5 KN/m² por metro de altura arriba de la lanzadora.

Suministro de Agua. El agua llega a una válvula instalada en la boquilla a través de una línea flexible de alta presión. Siempre que sea posible esta línea se conectará directamente a la alimentación principal, siempre que esta alimentación tenga una presión no menor de 400 KN/m².

La capacidad de producción, el tamaño máximo de agregado, el diámetro de la tubería y la demanda de aire son función del tipo de máquina que se utilice. Se puede alcanzar una producción de 9 m³/hr ó un poco mayor. Usualmente, el tamaño máximo de agregado que manejan estas máquinas es de 19 mm (3/4"), aunque algunas llegan a manejar agregados de 32 mm (1 1/4").

El diámetro usual de las tuberías flexibles varía entre 25- y 50 mm (1" y 2"); para agregado grande, el diámetro de la tubería es de 64 mm (2 1/2"). Las tuberías deberán ser de alta presión; para conducir el material 30 m de distancia, la demanda de aire normal varía de 6 a 17 m³/min; la presión usual de alimentación de aire es del orden de 5.5 a 7.0 kg/cm². El material puede ser conducido hasta una distancia de 300 m horizontalmente ó 90- m verticalmente; la longitud usual de la tubería es de 30 a 45 m.

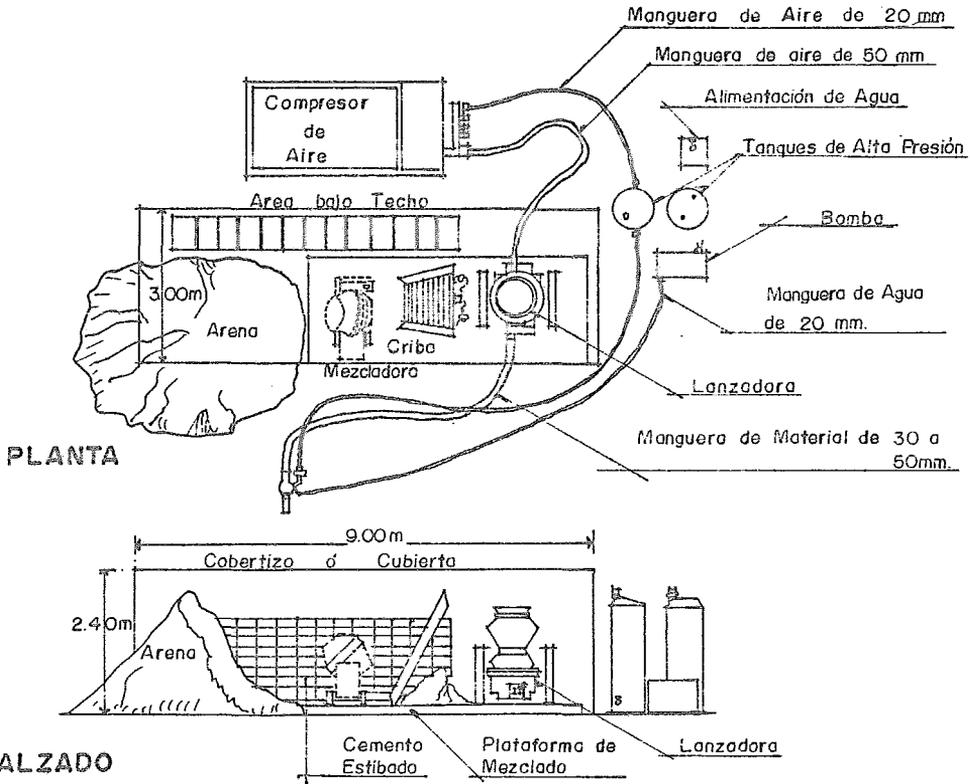
Las mangueras para material podrán ser: anti-estáticas ó conductoras y conectadas a tierra; la formación electrostática en la boquilla puede ser peligrosa. Un punto que debe observarse estrechamente es la concordancia de la manguera de alimentación y los coples; si un motor tiene una entrada de 25mm de diámetro, no es recomendable conectarlo a un compresor con una línea ó manguera de 12 ó 20 mm de diámetro. La línea de alimentación que es muy pequeña dará por resultado un control inadecuado de la lanzadora ó, en caso de ser posible el control, promoverá la congelación de las válvulas y las aspas del motor; deberán evitarse las expansiones adiabáticas a través de los coples, válvulas y accesorios. Las mangueras ó conexiones de mayor diámetro no ofrecen problemas en éste aspecto, pero son estorbosas ó incómodas.

El funcionamiento de la boquilla es convertir la corriente-entrante de material mezclado en seco, en mortero humedecido que transite a suficiente velocidad para ser dirigido con exactitud a un punto específico. Todas las boquillas retienen sus dispositivos básicos para suministrar un flujo variable, agua orientada radialmente, los pueden ser: un anillo perforado, hule ó acero ó una roldana ranurada, una roldana de hoja de expansión, etc.

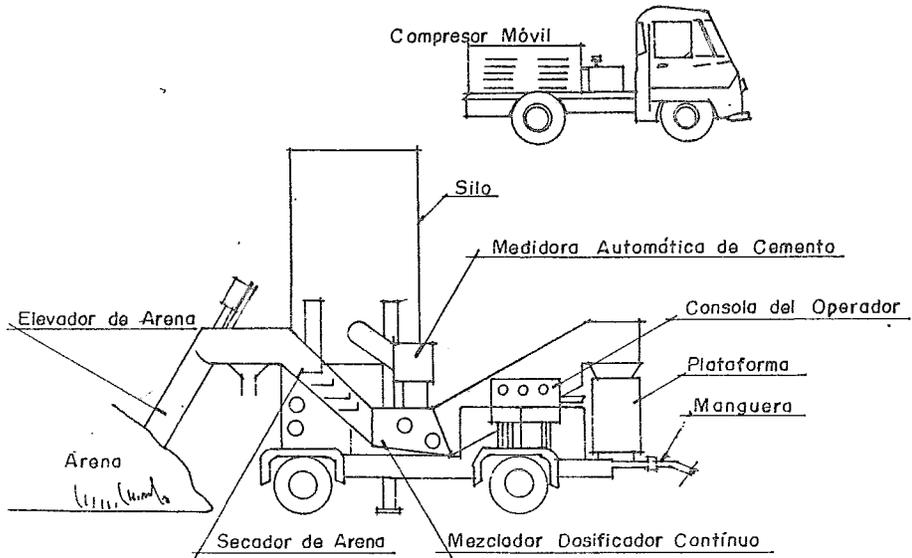
Un buen dispositivo envolverá la mezcla en un chorro de agua, de biendo estar diseñado de tal forma que el lanzador pueda regular fácil y rápidamente el flujo de agua. La boquilla contiene una - conexión que se ajusta a la línea de agua que alimenta el dispositivo de distribución de agua; éste último es removible normalmente, pero a veces es una parte permanente del cuerpo. La punta de la boquilla está generalmente hecha ó recubierta de hule para lograr uniformidad en los resultados, facilidad de limpieza y --- prevención al desgaste. Un chorro de concreto lanzado desgasta--- ría un espesor de 3 mm de punta de la boquilla de acero en un --- día de trabajo, mientras que una punta de hule por espacio de --- una semana ó más. El diseño de la punta de la boquilla es un --- área de investigación continua.

Es deseable que la boquilla cumpla eficientemente su cometido, pero el hecho de que hasta un 20 % ó más del material que pasa a través de ella esté destinado a caer de la superficie como material de rebote sin humedecer, ó solo parcialmente humedecido, ésto apremia a los fabricantes del equipo de concreto lanzado para producir boquillas de formas eficientes.

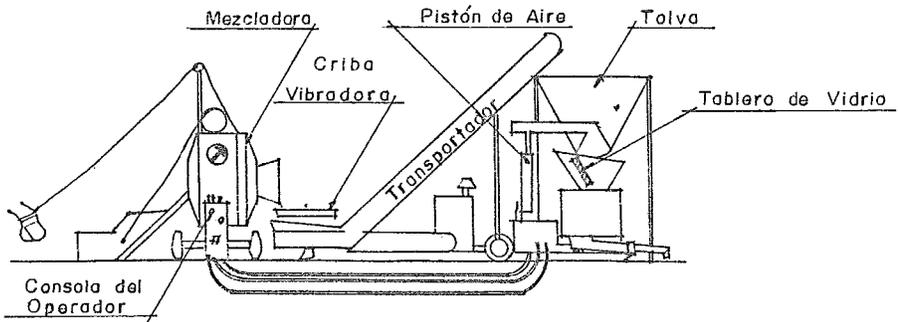
Se ha encontrado que la inducción de turbulencias, vórtices ó expansiones Venturi, pueden reducir el porcentaje de rebote y así producir un mejor concreto lanzado. Ciertos tipos de extremos de boquillas, especialmente el tipo " Hamm " (ó sus variaciones, como el tipo Boulder 500) de hecho, producen mejores resultados cuando la manguera de entrega es de más de 40 mm de diámetro, siempre que el rendimiento sea suficiente. Una de las más recientes boquillas desarrollada es el tipo "impulsor" que contiene un suministro adicional de aire; las boquillas de éste tipo - reducen el porcentaje de rebotes, incrementan el rendimiento y - mejoran los resultados a un costo ligeramente incrementado por - consumo de aire.



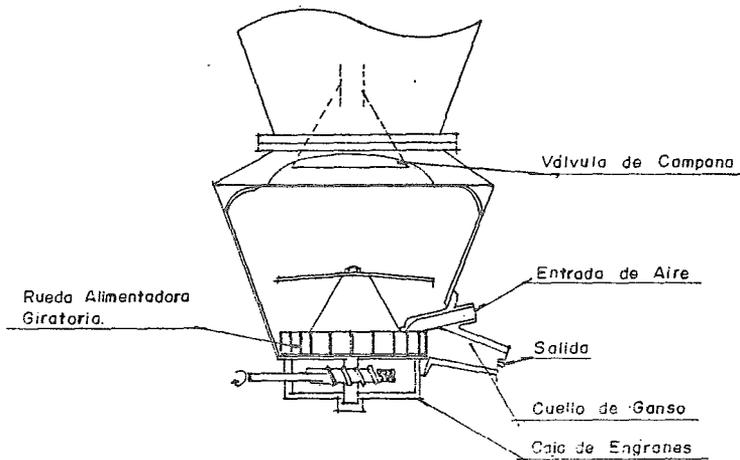
Planta Típica Pequeña. Aunque se muestra un mezclador, frecuentemente resulta adecuado el mezclado a mano.



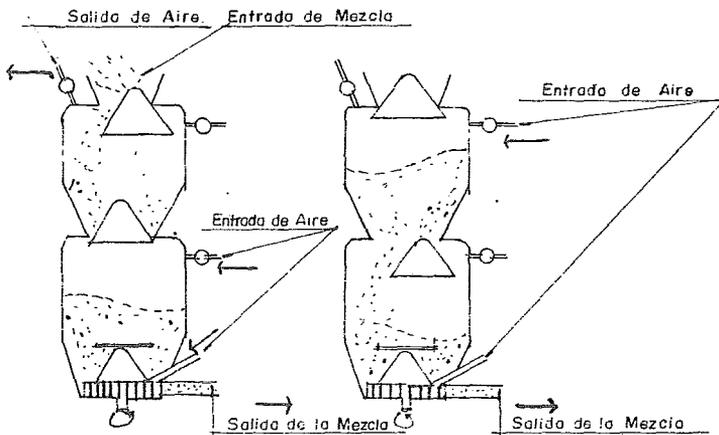
Equipo Típico Avanzado Para Gran Rendimiento Continuo.



Distribución Típica Para Rendimiento Mediano.

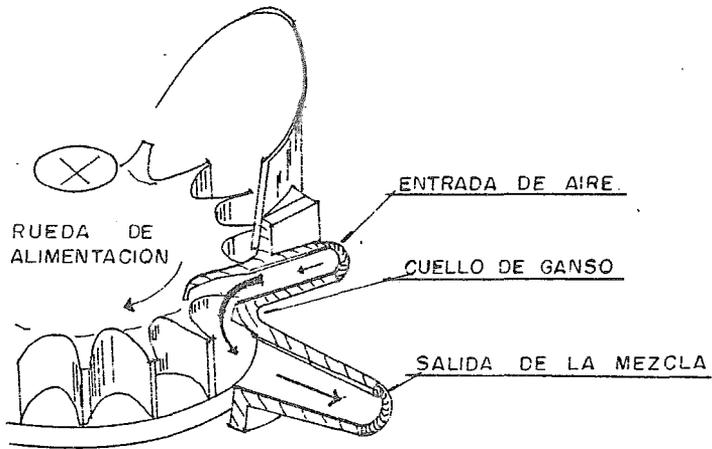


LANZADORA, SOBRE RUEDAS DE ALIMENTACION DETALLE DE LA CAMARA INFERIOR.

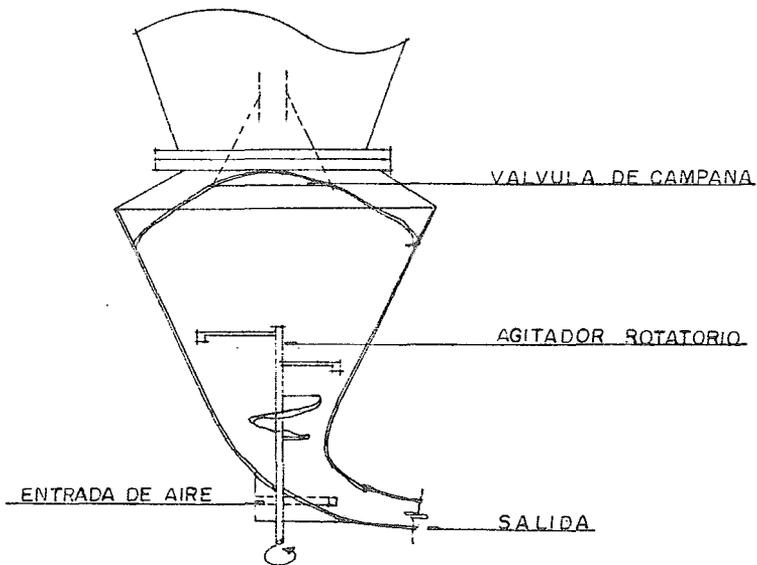


Etapa 1. LA VALVULA DE CAMPANA INFERIOR ESTA CERRADA. LA CAMARA INFERIOR ESTÁ PRESURIZADA. LA CAMARA SUPERIOR VACIA.

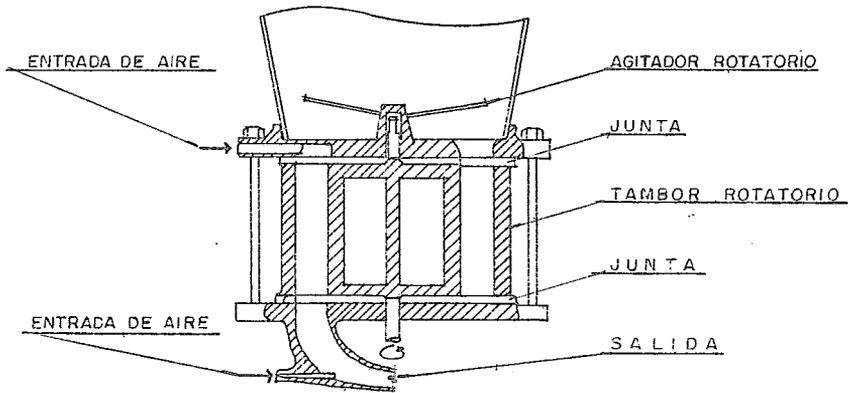
ETAPA 2. LA CAMARA SUPERIOR ESTÁ PRESURIZADA. LA VALVULA DE CAMPANA INFERIOR SE ABRE AL IGUALARSE LAS PRESIONES. LA MEZCLA CAE A LA CAMARA INFERIOR.



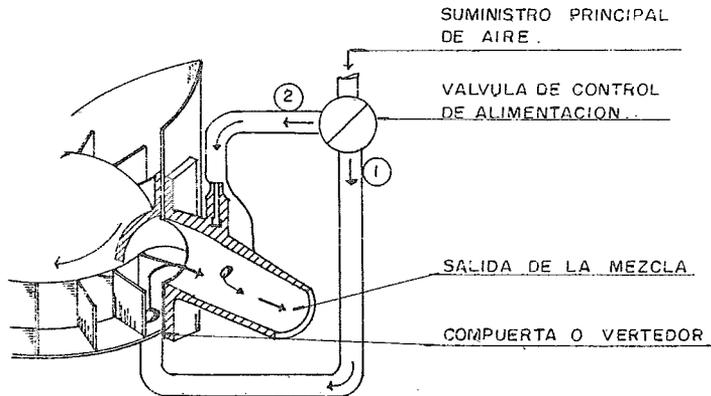
OPERACION BASICA DE LA RUEDA DE ALIMENTACION. EL AIRE QUE PENETRA POR EL CUELLO DE GANSO ACARREA LA CANTIDAD MEDIA DE MEZCLA DE LAS PORCIONES DE MATERIAL DE LA RUEDA DE ALIMENTACION ROTATORIA Y LO CONDUCE EN SUSPENSION A LA MANGUERA.



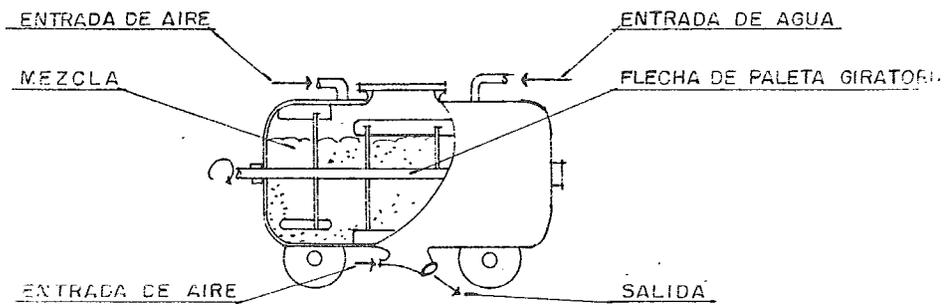
LANZADORA ALIMENTADA POR GRAVEDAD .



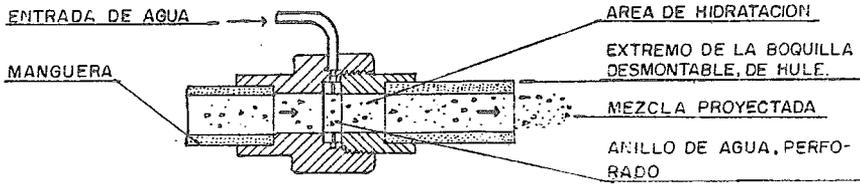
Lanzadora de Tambor Giratorio. Detalle del Tambor.



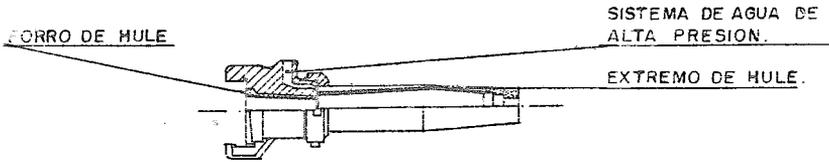
La adaptación "control de alimentación" Boulder del sistema de alimentación de rueda. El aire (1) que penetra por la rueda de alimentación levanta la cantidad de mezcla que le permite la presión sobre la compuerta hacia la salida, en donde es impulsada por la corriente de aire (2). Los suministros de aire (1) y (2) se regulan por la válvula de control de alimentación.



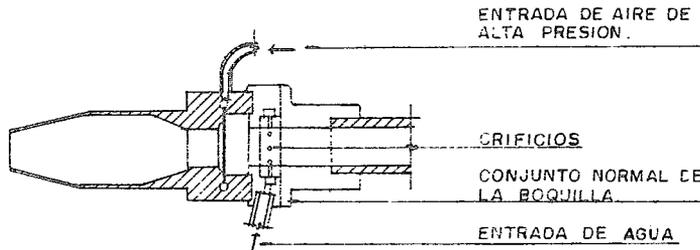
LANZADORA TIPICA PARA MEZCLA HUMEDA



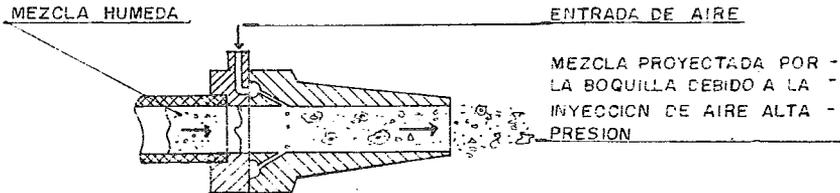
BOQUILLA TIPICA



BOQUILLA TIPO BOULDER "500", ES UNA BOQUILLA TIPICA DE MEZCLADO SECO .



BOQUILLA TIPICA IMPULSORA .



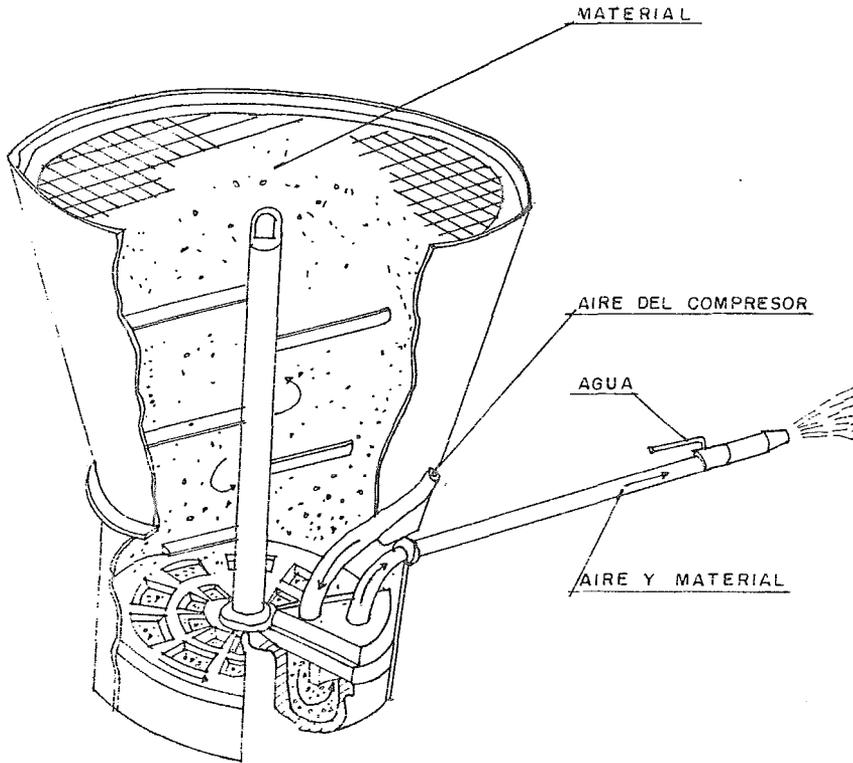
BOQUILLA TIPICA PARA MEZCLA HUMEDA

Cuadrillas de Lanzado. La calidad que alcance el concreto - lanzado está influenciada por la habilidad de la cuadrilla. Es - necesario que los miembros de ésta reciban entrenamiento, adquieran experiencia en éste campo, y sea aprobada ésta aptitud antes de participar en un trabajo real de concreto lanzado. Una cuadrilla está constituida, normalmente por: un lanzador, un operador-de chiflón, un operador de la lanzadora, un operador de la mez-cladora, un sobrestante, y peones que ayudan en maniobras diver-sas como, traslado de materiales y accesorios, mezclado, etc.

FUNCIONES.

Lanzador:

- 1.- Asegurarse que la boquilla esté en óptimas condiciones de -- funcionamiento, el forro fijo y sin desgaste, que los cho--- rros de agua estén libres y no tengan obstrucciones, que las mangueras no tengan incrustaciones y estén colocadas correctamente- y que sus conexiones esten hechas en forma adecuada.
- 2.- Asegurarse que la superficie que va a recibir el concreto -- lanzado esté limpia, libre de polvo, lechada, grava, etc.
- 3.- Asegurarse que se recibe el chorro de mezcla en un flujo re- gular a la presión correcta y uniforme requerida.
- 4.- Regular el control del agua para asegurar una compactación - adecuada del concreto lanzado, bajo porcentaje de rebote y - ausencia de revenimiento.
- 5.- Deberá mantener la boquilla en tal forma que el concreto lanzado se proyecte lo más directamente que sea posible sobre - las superficies, según lo permitan las condiciones. Esto asegurará una compactación adecuada y un bajo porcentaje de re- bote.
- 6.- Dirigir el chorro del concreto lanzado hacia las esquinas en una secuencia sensible, para tener la seguridad de que se -- llenen los rincones con concreto sano y que si hay refuerzo- esté embebido en él sin formación de bolsas de arena.
- 7.- Dirigir al operador de la lanzadora de acuerdo con sus nece- sidades y detener el trabajo cuando se presente alguna defi- ciencia en el abastecimiento.



MAQUINA LANZADORA CON COMPARTIMIENTOS EN "U"

- 8.- Eliminar cualquier bolsa de arena que se forme y cualquier área que tenga corrimientos de concreto ó depresiones.
- 9.- Disparar el concreto lanzado con el espesor, alineamiento y superficie requeridos.

Operador de Chiflón:

- 1.- Ayudar al lanzador con el tubo de " chiflón " de aproximadamente 1.2 m de longitud y cuando menos de 20 mm de diámetro, equipado con una válvula para eliminar por medio de soplado los rebotes de la superficie del trabajo.
- 2.- Ayudar al lanzador en cualquier otra operación como por ejemplo, en el caso de que las mangueras deban cambiarse de lugar, eliminar bolsas de arena, aplanar la superficie del concreto lanzado, eliminar el material de rebote, cuidar la presentación de problemas tales como fugas, bloqueos, movimientos de las reglas maestras, etc., actuar como mensajero y emisor de señales.

Operador de la Lanzadora:

- 1.- Asegurarse que la lanzadora esté en excelentes condiciones de trabajo.
- 2.- Regular el suministro de la mezcla de la lanzadora de acuerdo con las necesidades del boquillero en cuanto a presión ó volumen.
- 3.- Asegurar que el suministro de la mezcla no tenga pulsaciones ó que en alguna forma deje de ser regular.
- 4.- Asegurarse, revisando cuidadosamente todas las conexiones, que no se pierda aire en las mangueras ó en la lanzadora.
- 5.- Dirigir al operador de la mezcladora de acuerdo con sus necesidades y rechazar cualquier material que se haya dejado por más de dos horas sin utilizar (una hora si la arena estaba húmeda) ó cualquier otra mezcla que considere no satisfactoria.
- 6.- Sopletear todas las mangueras de material al detenerse el trabajo y vaciar el lanzador si la interrupción dura más de una hora.

Operador de la Mezcladora:

- 1.- Asegurarse que la mezcladora esté limpia y en condición mecánica de primer orden, ésta deberá limpiarse diariamente.
- 2.- Mezclar el cemento y la arena en las proporciones previamente calculadas.
- 3.- Mezclar por lo menos durante un minuto, ya sea que se use una mezcladora de tambor ó de olla.
- 4.- Rechazar cualquier cemento insano, que esté mal graduado, de mala calidad ó arena con un contenido de humedad mayor del 10 %.
- 5.- Por medio de un cribado cuidadoso, tener la seguridad de que no existen agregados grandes, pedazos de bolsas de cemento, escamas de cemento ó cualquier otro material que pudiera bloquear la manguera si se deja entrar a la lanzadora ya sea de la revolvedora ó de los montones de material mezclado.
- 6.- Asegurarse que el cemento esté almacenado cerca y a la mano de la máquina, sobre una tarima que tenga cuando menos 150 mm arriba del nivel del piso y bajo techo.
- 7.- Verificar que la grana se almacene bajo techo y bajo lonas, de tal manera que pueda drenarse libremente.

Sobrestante:

El sobrestante tiene la responsabilidad de la terminación satisfactoria del trabajo y actuar como coordinador y director para la correcta ejecución del trabajo.

Organización de la Cuadrilla. Esta es responsabilidad del sobrestante, quien debe programar el trabajo de acuerdo con las necesidades y asegurarse que todo el equipo trabaje sin dificultades, tomando las precauciones necesarias y previendo las eventualidades. Es muy frecuente que, debido al ruido del compresor, al retumbar de la boquilla, ó simplemente a la distancia, es imposible comunicarse por medio de la voz; por lo que se hace necesario comunicarse mediante señales. Cuando la cuadrilla de lanzamiento no pueda ver al lanzador, deberá usarse un aparato bidireccional, silbidos ó un individuo de señales, en cuyo caso se acordará una clave.

El modelo más confiable para la comunicación, es el radio bidireccional que consiste en una unidad ligera para colocar sobre la cabeza (interconstruida en un casco), accionada por batería recargable y con micrófonos y audífonos a prueba de polvo.

REBOTE.

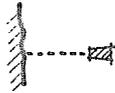
El rebote es un aspecto de suma importancia en el concreto lanzado. Además del incremento en costo directo por consumo de material y remoción de los sobrantes, cuando existe gran cantidad de rebote, el tiempo de lanzado aumenta y el avance general de construcción puede disminuir. El rebote dentro de la aplicación del concreto lanzado se caracteriza por dos fases; la primera ocurre mientras se forma una pequeña capa de mortero que forma un colchón de amortiguamiento, presentándose un rebote extremadamente elevado. En la segunda, el concreto lanzado choca contra la capa suave de mortero fresco adherido y el rebote se reduce considerablemente. El espesor de la capa de concreto en la fase inicial varía entre 3 y 10 mm. En la práctica, el rebote promedio que se produce en las dos fases se le da el nombre de porcentaje de rebote; y está sujeto a los siguientes factores:

- 1.- La eficiencia de hidratación. Presión de agua, lanzador, diseño de la boquilla.
- 2.- La relación de agua-cemento. Diseño de la mezcla, lanzador.
- 3.- Granulometría de la arena. Arenas más gruesas igual a más rebote.
- 4.- La velocidad de la boquilla. Capacidad del compresor, tamaño de la boquilla, lanzador.
- 5.- El ángulo y distancia del impacto. Límites de acceso, lanzador.
- 6.- Espesor de la aplicación. Especificaciones del trabajo, lanzador.

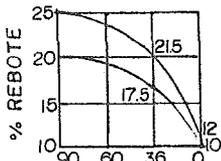
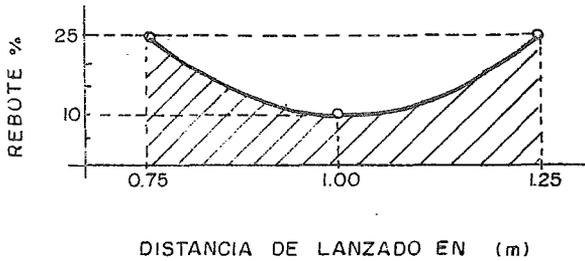
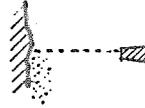
MUY CERCA



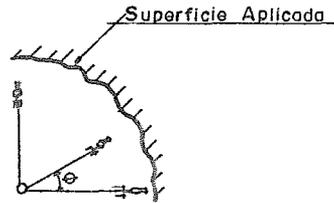
CORRECTO



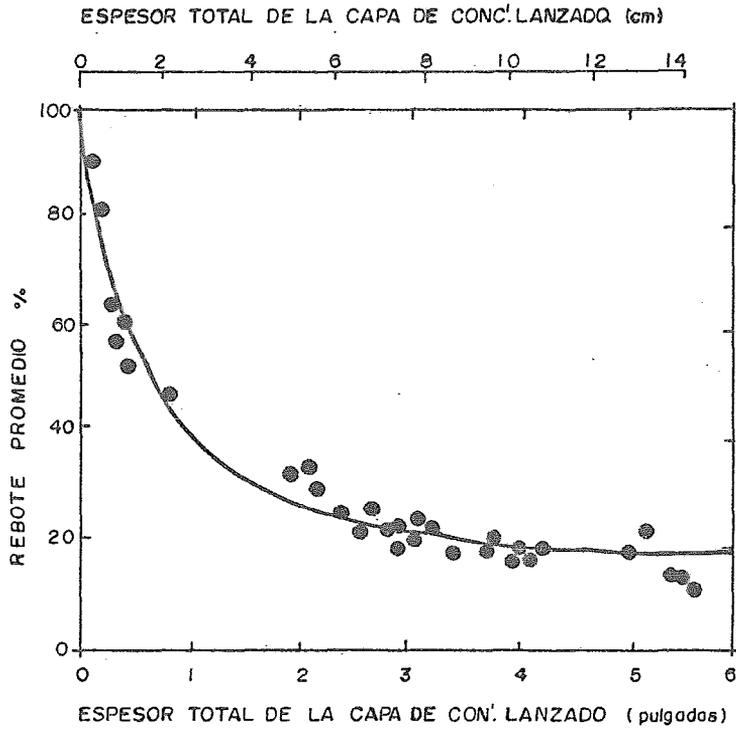
MUY LEJOS



ANGULO ϕ DEL CHIFLON CON RESPECTO A LA HORIZONTAL.



EFFECTO DE LA FORMA DE APLICACION Y DISTANCIA DEL CHIFLON DE LA SUPERFICIE DE APLICACION SOBRE EL % DE REBOTE .



RELACION ENTRE EL REBOTE PROMEDIO Y EL
ESPESOR DEL CONCRETO LANZADO.

El porcentaje de rebote observado en unos p neles de prueba (de espesor entre 5 y 10 cm) varió de 15 % al 35 %.

OBSTRUCCIONES.

Si todo el conjunto est  limpio, seco y libre de material - sin cribar, no puede presentarse ninguna obstrucción. Cuando éstas se presentan en el material de la manguera la causa generalmente es alguna de las siguientes:

- 1.- Partículas demasiado grandes en la mezcla (agregados de mayor tamaño, cemento malo) capas endurecidas de cemento, pedazos de sacos de cemento que penetran en la manguera. Esto se elimina con un cribado cuidadoso.
- 2.- Arena muy húmeda. Esto se elimina por una protección cuidadosa de la arena en el lugar y revisando las entregas de la misma.
- 3.- Arena muy seca. Esto se elimina revisando el contenido de agua en la arena y humedeciéndola antes del mezclado.
- 4.- Agua que entra por las uniones de la manguera. Esto se elimina haciendo las conexiones apropiadas de la manguera y protegiendo las uniones.
- 5.- Agua   aceite en el aire comprimido. Esto puede eliminarse con el uso de separadores centrífugos en el suministro de aire   por el uso de un tanque separador.

El agua en las mangueras de alimentación es sorprendentemente común, especialmente en túneles en que el aire tiene frecuencia una humedad del 100 % .

Destapar una obstrucción puede ser muy peligroso sin las precauciones adecuadas. El método normal, es quitar la presión en la lanzadora, desconectar el material de la manguera, revisar que la obstrucción no est  en el cuello de ganso y sopletearlo.- La manguera se coloca después en la conexión para sopleteo y se conecta la presión máxima del aire para expulsar el material de obstrucción, que será conducido manguera abajo y puede salir como un proyectil con una detonación considerable en la boquilla.-

No es muy frecuente el bloqueo en las uniones de las mangueras, cuando se presente una obstrucción en una unión, debe eliminarse toda la presión en la manguera ántes de tratar de aflojar la unión, y limpiarse picando con un desarmador, flexionando la manguera precisamente atrás de la unión y aplicando aire a presión. Cuando se presenten obstrucciones cerca de la boquilla, el lanzador puede eliminarla flexionándola temporalmente la manguera para elevar la presión de suministro y enderezando la misma, el sonido de " trompeteo " resultante indicará al lanzador que todo está en orden.

MEDIDAS DE SEGURIDAD.

El lanzador necesita protegerse de los rebotes y de las nubes de polvo de cemento. Las piezas individuales de rebote pueden pegar al boquillero a velocidades de 150 km/hr ó más, por lo que es muy importante que el lanzador use anteojos de seguridad para proteger sus ojos. El tipo de anteojos más usado son los de plástico, desechables, debido a que se recubren eventualmente con concreto lanzado ó con lechada de cemento y es antieconómico limpiarlos. Los anteojos de vidrio no son recomendables a menos que se compruebe que sus cristales son antichoque y que no se empañan en el interior.

En ambientes interiores y cerrados se requiere ventilación para la salud y comodidad del lanzador. Deberán suministrarse respiradores. Una solución mejor que se emplea con ventajas en cualquier trabajo desarrollado en un ambiente cerrado (túneles, chimeneas, hornos, etc.), es llevar una línea ligera de aire a través de un equipo especial de cabeza.

Se recomiendan guantes impermeables de ajuste flojo; también un casco protector bien ajustado, tanto para proteger la cabeza como para evitar que el cemento caiga al cabello. El mejor uniforme es un traje de calderero, que se ajuste firmemente al cuello y con pantalones de ajuste flojo que caigan sobre las botas de hule.

En todos los andamios de más de 5 m de altura, y en todos los andamios volantes, el lanzador deberá usar un arreo de seguridad.

MATERIALES Y MEZCLAS.

Los materiales que se utilizan para producir concreto lanzado son prácticamente los mismos que se emplean para fabricar concreto convencional. Probablemente, las principales diferencias se encuentran en las granulometrías requeridas para los agregados y en el uso de aditivos superacelerantes.

Cemento.

La decisión sobre el tipo de cemento está relacionada con el lugar donde se va a realizar la obra, con la velocidad deseada de desarrollo de fraguado y de resistencia, y con el aspecto económico. Según éstos requerimientos, podrán usarse cementos -- Portland tipos I, II, III, Portland puzolánico, etc. El cemento Portland debe cumplir los requisitos de calidad respectivos. Si el concreto lanzado está expuesto a suelos ó agua freática que contengan elevadas concentraciones de sulfatos disueltos, deberán usarse cementos resistentes a los sulfatos. El cemento alto en alúmina deberá satisfacer lo indicado en las normas establecidas. Se trata de un cemento de endurecimiento rápido, para usos en que se requiere resistencia térmica, como en los recubrimientos refractarios. También proporciona elevada resistencia a ciertos ácidos, sin embargo, su uso puede requerir ciertas precauciones debido a su alto calor prematuro de hidratación.

Agua.

Los requisitos que debe cumplir el agua para ser empleada en el concreto lanzado son los mismos que para el concreto convencional; es decir, no debe estar mezclada con arcilla, sales solubles, agua dura ó con presencia de materia orgánica, de lo contrario provocará descensos en las resistencias finales de los concretos, pudiendo llegar hasta la desintegración de los mismos. Si existe duda de la calidad del agua, es recomendable hacer --- pruebas comparativas con pasta de cemento y con mortero utilizando agua de calidad comprobada. Cuando los acabados requeridos sean aparentes, el agua para curar también deberá estar libre de elementos que puedan ocasionar manchas.

Agregados.

Todos los agregados deben cumplir con las especificaciones en la norma ASTM C-33, a excepción de las relativas a granulometría, ya que ésta afecta considerablemente el flujo de la mezcla a través de la tubería, la hidratación del material en la boquilla, la adhesión a la superficie y el rebote. Las curvas granulométricas más convenientes se obtienen experimentalmente ó por recomendación de los fabricantes de equipo. Un módulo de finura -- adecuado para la arena debe estar entre 2.4 y 3.2. El tamaño -- máximo usual del agregado varía entre 9.5 mm (3/4"). Una mezcla típica contiene alrededor de 60 % de arena y 40 % de grava. Asimismo, la arena empleada para acabados, recubrimientos rápidos y ciertos usos especiales, puede ser más fina que lo especificado; sin embargo, debe tenerse en cuenta que, las arenas más finas generalmente originan una contracción mayor por secado. Y arena -- más gruesa producen más rebote.

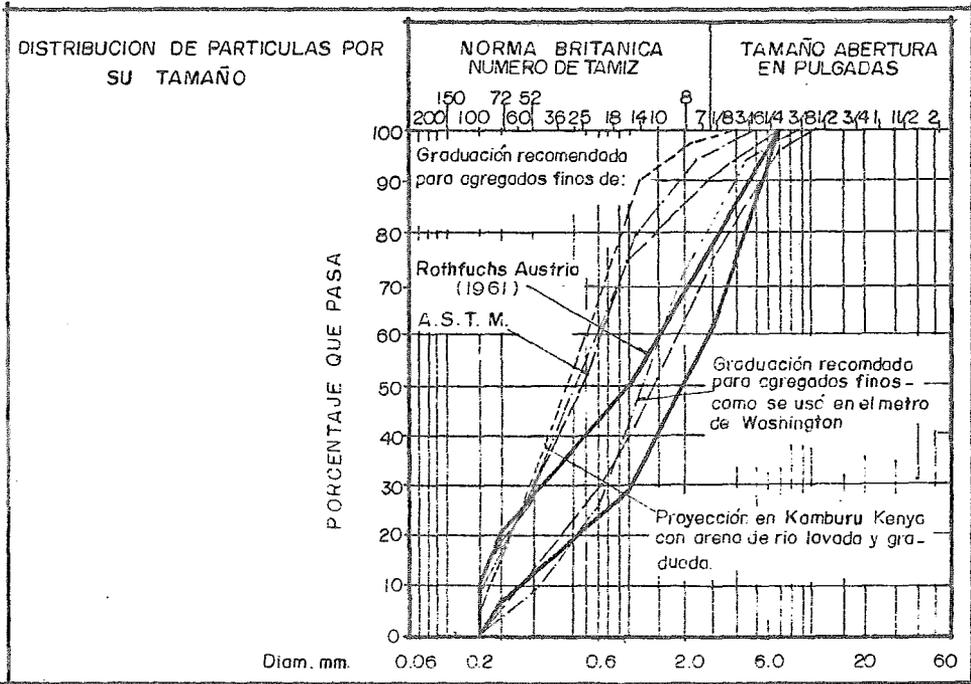
Agregados Finos. Se componen de arena natural, arena triturada ó una combinación de ambas. Y es el material que pasa a través de la malla número 4, que tiene 4.76 mm (3/16") de abertura entre los hilos, y queda retenida en la malla número 200.

Agregados Gruesos. Se componen de partículas resistentes, durables y limpias en su superficie, de piedra triturada, grava natural ó una combinación de ambas. Es el material que queda retenido en la malla número 4, y pasa la malla 3/4".

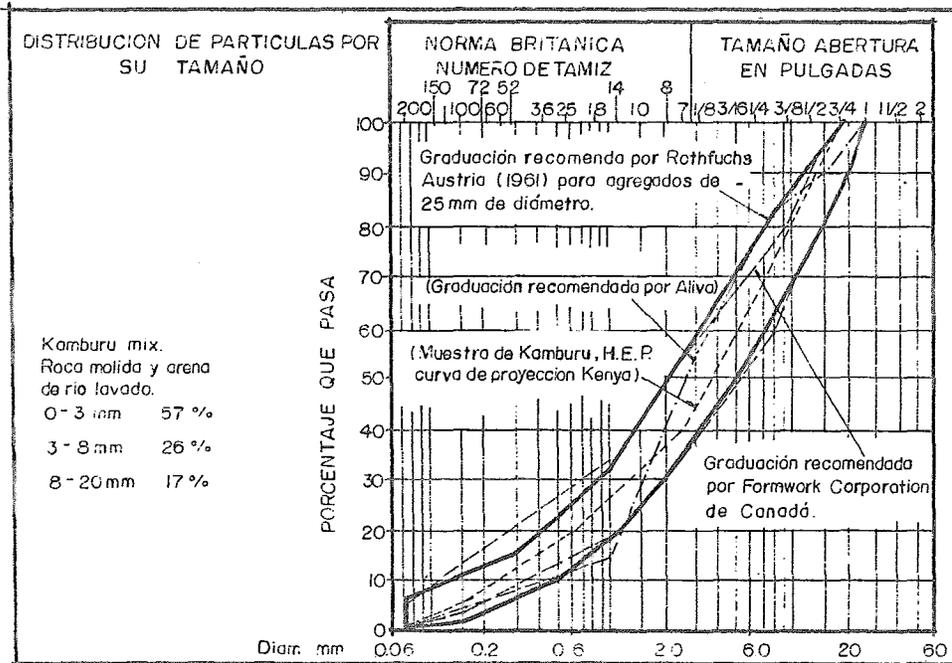
En la literatura se encuentra con frecuencia el uso de los adjetivos " fino " y " grueso " para designar al concreto lanzado; - el primero se aplica cuando se utiliza gravilla (hasta 3/8"), y el segundo cuando se emplea un agregado mayor (hasta 3/4").

Los agregados no deben reaccionar con los álcalis del cemento; si dichos agregados produjeran una expansión excesiva en el mortero ó en el concreto debido a la reacción con el cemento, deberán desecharse a menos que se apliquen medidas correctivas.

GRADUACION RECOMENDADA PARA AGREGADOS FINOS.



GRADUACION RECOMENDADA PARA AGREGADOS DE 25 mm de DIAM.



ESPECIFICACIONES.

Cláusulas:

El término "concreto lanzado" se refiere al concreto producido por la proyección de mezcla humedecida de arena-cemento sobre un área, por medio de presión de aire aplicada a través de un recipiente de presión de alimentación continua "lanzador".

El equipo de lanzado y de colocación deben ser de un tipo - aprobado, bastante experimentado y apropiado para el trabajo en cuestión.

El cemento deberá ser tipo Portland, común de acuerdo con la Norma Británica.

La arena deberá estar lavada, limpia, angulosa y seca; y deberá satisfacer las especificaciones de proyecto.

El acero de refuerzo, empleado en el concreto lanzado, debe estar de acuerdo con la norma respectiva en diseño y condición; debe estar sin pintura, libre de costras, lodo, grasa ó rebotes-endurecidos.

La presión de aire de trabajo a la salida de la lanzadora - no deberá ser menor de 240 KN/m².

El agua para mezclado y curado será limpia y libre de sustancias que puedan ser perjudiciales al concreto, ó en su caso - al acero. Debe cumplir con la norma correspondiente, y no contener coloración que manche. La presión del agua deberá ser suficiente para asegurar una hidratación adecuada en todo momento.

El constructor deberá emplear operadores aptos y experimentados. El lanzador deberá tener una experiencia de trabajo calificada.

La boquilla deberá mantenerse en la posición óptima en todo momento, es decir, 0.6 a 1.2 m de la superficie donde se aplicará el concreto lanzado y en ángulo recto con relación a la misma.

Las superficies verticales deberán trabajarse de abajo hacia arriba.

Todo el material de rebote ó bolsas de arena deberán limpiarse durante el curso del trabajo.

El constructor deberá emplear como parte de su cuadrilla a un operador para que accione el chiflón de aire conjuntamente con el lanzador.

No deberá mezclarse material de rebote con ninguna mezcla.

No deberá utilizarse ninguna mezcla si el trabajo se ha detenido por más de una hora después de terminado el mezclado.

El constructor debe proporcionar formas para el tablero de pruebas, bajo la dirección del ingeniero, hechas de madera contrachapadas de 20 mm de espesor, 600 mm de ancho y 900 mm de largo, circundados con una tira de malla ligera de metal desplegado, con una altura de 75 mm en toda la periferia del tablero.

El constructor deberá colocar un tablero simultáneamente y junto a cada etapa de trabajo. Con el trabajo producido en un día, todos los lanzadores deben elaborar junto con el mismo (trabajo), un tablero de prueba en unas condiciones semejantes al mismo (horizontal, vertical ó en plafón). Estos tableros deben dejarse para que se curen por espacio de siete días al mismo tiempo que se ejecutan las labores.

Con la última mezcla del día el trabajo deberá escalonarse para formar una arista fina. Esta arista puede humedecerse y limpiándose con un sopleteado de aire-agua antes de hacer la unión al continuar con los trabajos al día siguiente.

El concreto lanzado terminado deberá protegerse por completo del viento, de corrientes de aire, lluvia, luz solar y congelamiento, por cualquier medio posible y de acuerdo con la aprobación del ingeniero.

El concreto lanzado terminado debe curarse adecuadamente por aspersión continua y uniforme de agua, después de un período de ocho horas de su colocación y por un lapso de siete días. El agua para el curado debe ser de la misma fuente que el agua para la mezcla.

C A P I T U L O T E R C E R O

PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO

- A) Propiedades del Concreto Lanzado Ligero y Pesado
- B) Resistencia y Durabilidad
- C) Contracción y Permeabilidad

PROPIEDADES DEL CONCRETO LANZADO LIGERO Y PESADO

Concreto Lanzado Ligero Estructural. El concreto lanzado ligero, es de gran interés práctico para la construcción de techos ó edificios completos, para aislar edificios existentes asi como estructuras de acero a prueba de incendios.

Existen agregados finos ligeros de varias procedencias, los cuales se emplean en proporciones 1:3 a 1:4.5 en volumen seco, - obteniéndose un concreto lanzado ligero con pesos volumétricos - que varían de 1.5 t/m³ hasta 2.0 t/m³ y puede predecirse con seguridad que alcanza una resistencia mínima de diseño de 21 N/mm² a los 28 días.

Los agregados que se usan varían desde pizarras hasta arcillas expansivas y cenizas de combustibles nodulizadas, dando éstas últimas excelentes resultados. Ciertos agregados no pueden usarse debido a su extrema fragilidad, porosidad ó angularidad.

Todos los agregados ligeros requieren un manejo cuidadoso - en la mezcladora y en la lanzadora, deben usarse velocidades más lentas y presiones más bajas, de manera que no se altere su granulometría al triturar las partículas más grandes (y más ligeras). Se recomienda el uso de una boquilla intensificadora con el mortero lanzado ligero, ya que ofrece una mejor compactación, humedecimiento y menor rebote.

El concreto lanzado ligero es recomendable para usarse en techos curvos de formas dobles, incluyendo cambio de sección como las vigas marginales con bóvedas paraboloides, hiperbólicas y cilíndricas. Las especificaciones para los techos ligeros, indican un espesor de solamente 50 mm; sin embargo, se recomiendan - 75 mm como un mínimo razonable con objeto de proporcionar suficiente recubrimiento al refuerzo.

Las máquinas para mezclas húmedas no pueden usarse para elaborar concreto lanzado ligero; todos los agregados ligeros requieren un humedecimiento previo antes de ser mezclados. Esto deberá controlarse cuidadosamente, de preferencia hacerlo inmediatamente antes de efectuar la mezcla con el cemento, para impedir que el agregado absorba demasiada agua. (Algunos tipos de agregados pueden absorber agua hasta un 20 % de su peso). Por lo cual es necesario un cuidado extremo en la dosificación de las mezclas; pues en cualquier momento deberá conocerse el total de agua absorbidas en ellas.

Dependiendo de sus características de absorción, los agregados ligeros pueden aumentar su volumen seco hasta un 30 % cuando se saturan. El mejor procedimiento para dosificar mezclas es hacerlo por peso, comprobando precisamente en la construcción con pruebas de laboratorio; aunque es más popular la dosificación por volumen, resultando adecuada siempre que el proceso se verifique ocasionalmente mediante el procedimiento por peso.

El acabado del concreto lanzado ligero puede presentar problemas, ya que las partículas de los agregados mayores tienden a salir a la superficie cuando ésta se corta ó se aplanan. Sin embargo, un operario con experiencia puede, dejando pasar un poco más del tiempo normal después del falso fraguado, aplanar la superficie en forma satisfactoria. Aunque generalmente, la mayoría de las estructuras ligeras se enyesan ó se dejan como concreto aparente.

Los concretos lanzados de vermiculita y perlita, que por lo general son muy ligeros, no se califican de ninguna manera como estructurales y se usan solamente como recubrimientos aislantes para usos refractarios.

Concreto Lanzado Pesado. El concreto lanzado pesado, puede producirse usando agregados especiales de alta densidad. El concreto lanzado que contenga cristales de barita (sulfato de bario) es útil como material de blindaje contra radioactividad -- alrededor de los cuartos de isótopos, laboratorios de rayos-X, - etc. La resistencia a los agentes de intemperismo sin la protección de barita, no es muy satisfactoria. También se usan municiones de acero y limadura de fierro para sustituir una parte del volumen de arena, pero solamente en áreas protegidas.

RESISTENCIA Y DURABILIDAD

Se ha demostrado que el concreto lanzado tiene una resistencia y una durabilidad igual ó mayor que el concreto hidráulico - colado.

La adherencia inicial del concreto lanzado, es completamente mecánica, pero el endurecimiento tiene aspectos tanto mecánicos como químicos. Si la superficie que recibe el concreto lanzado está limpia pero áspera, el concreto lanzado que se coloca sobre ella se pegará en la forma de un lodo húmedo que se lanza sobre una pared y que se convierte, por el impacto, en una masa densa, cohesiva, que penetra muy irregularmente en la interfase con la superficie sobre la que se lanzó. El concreto lanzado permanece en su lugar como resultado de los efectos combinados de cohesión, succión e intrusión. Una vez en su lugar, siempre que la superficie haya sido humedecida antes de la aplicación de concreto lanzado, se lleva a cabo una reacción química que da por resultado el endurecimiento del cemento para unir entre sí las masas; la adherencia de algunas pastas de cemento, se verificará por acción capilar ó intrusión forzada en poros y fisuras existentes en la superficie, dando por resultado un incremento efectivo final en la adherencia.

La resistencia de proyecto a compresión del concreto lanzado normalmente se fija entre 200 y 400 kg/cm². Las proporciones varían de acuerdo con la resistencia que se especifique; de ésta forma, un concreto lanzado con proporciones iniciales 1:4.5 por peso, puede adquirir una resistencia del orden de 230 kg/cm² a los 28 días. La resistencia a tensión del concreto lanzado, obtenida por medio de la prueba "Brasileña" (tenso-compresión) es decir, tensión indirecta, haciendo una correlación con su resistencia a la compresión; varía entre el 8 % y el 12 % de su resistencia

tencia a compresión simple y la de flexión es de aproximadamente el 14 % de la citada resistencia a compresión.

Es preciso indicar que el desarrollo de resistencia del concreto lanzado, cuando se emplean aditivos acelerantes, es muy distinto al que ocurre cuando no se emplean éstos productos; es normal que se presente una reducción considerable de las resistencias a largo plazo en el concreto lanzado. Por ésta razón, puede ser más conveniente especificar resistencias moderadas a largo plazo que recomendar resistencias muy elevadas. Por ejemplo, una resistencia de proyecto a 28 días de 200 kg/cm² ó 250 kg/cm² es mas realista que una resistencia demasiada alta de 350 kg/cm² ó 400 kg/cm² que difícilmente se podrá alcanzar en forma consistente. También, es conveniente tener en cuenta que en general la dispersión de los resultados es mayor en el concreto lanzado que en el concreto convencional.

Un comparativo de resistencias y durabilidad entre el concreto lanzado y el concreto hidráulico colado es el siguiente:

- 1.- La adherencia a la superficie de la roca es superior en el concreto lanzado 20 - 40 kg/cm² contra 0 - 5 kg/cm² del concreto colado. Esto debido a la fuerte compactación que ocurre durante el lanzamiento.
- 2.- El concreto lanzado tiene mejor cooperación con la roca, que el concreto colado. Esto se debe al hecho que el concreto lanzado penetra profundamente en fallas, juntas, grietas y cavidades de la roca, formando así una estructura monolítica con lámina.
- 3.- El peso volumétrico del concreto lanzado es en general superior al peso volumétrico del concreto colado (2.2 contra 2.0). Por fuerte compactación, resultando además una resisten-

cia mejor a la abrasión.

4.- El concreto lanzado tiene una flexibilidad superior al concreto colado, aproximadamente dos veces más, debido a la forma de colado.

5.- La resistencia a la flexión es ; del orden del 15 % al 20 % de la resistencia a la compresión, contra el 10 % al 12 % -- del concreto hidráulico colado.

6.- La resistencia a la tensión; aproximadamente de 8 % al 12 % de la resistencia a la compresión, esto es, ligeramente mayor que en la del concreto colado.

7.- Resistencia al cortante, es del 6 % al 12 % de la resistencia a la compresión.

8.- Resistencia a la carga puntual 30 % superior al concreto colado.

9.- Resistencia a la abrasión. El concreto lanzado, siendo denso y cohesivo, es más resistente a la abrasión que el concreto normal, y puede hacerse aún más resistente usando agregados especiales. Por ejemplo, los finos pueden formarse de una parte de limaduras de fierro, a dos partes de arena de roca triturada ó escoria de alto horno graduada. Ciertos materiales que se obtienen como subproductos del proceso de manufactura del cemento, -- proporcionan un agregado de alta resistencia a la abrasión, especialmente cuando se usan con cemento aluminoso.

Sin embargo, debe decirse que; es muy poco lo que se ha investigado hasta la fecha respecto a la durabilidad del concreto lanzado, ya que su resistencia al ataque de las aguas, sustancias y suelos agresivos, como en el concreto convencional, dependerá fundamentalmente de su composición, especialmente del tipo de cemento y de la calidad de los agregados.

CONTRACCION Y PERMEABILIDAD

Los efectos de contracción por secado, según algunas observaciones, son un poco mayores en el concreto lanzado que en el concreto convencional; esto es, que se debe en gran parte a la elevada relación superficie-volumen que es característica de los espesores delgados del concreto lanzado que se utilizan en túneles. Los valores típicos de contracción que se obtienen en concreto lanzado están comprendidos entre 0.06 y 0.10 %. El concreto lanzado, por otra parte, muestra una permeabilidad menor que la del concreto común, probablemente debido a la energía con que se compacta al ser aplicado.

Para una resistencia máxima del concreto lanzado, las superficies del mismo deben dejarse al natural. Puede obtenerse una apariencia más aceptable, ligeramente más lisa, cepillando la superficie con una brocha suave aproximadamente una hora después de su colocación para remover la nata y la película de rebote adherida. Una mejor protección a la superficie del concreto lanzado en condiciones severas se logrará pintando la superficie. Se han usado pinturas bituminosas, aceite de linaza caliente, impermeabilizantes de superficie con base de cemento, soluciones de resina ó silicones y muchas otras substancias.

C A P I T U L O C U A R T O

C O N T R O L D E C A L I D A D

- A) Muestreo
- B) Ensayes
- C) Inspección

MUESTREO

El muestreo de concreto lanzado puede efectuarse de dos formas:

- a) Extrayendo corazones ó núcleos directamente de las paredes ó techo, según la superficie donde se aplique, con equipo de perforación provisto de broca de diamante ó acero de tungsteno
- b) Extrayendo núcleos, ó labrando cubos, ó prismas, de péneles de prueba obtenidos durante el lanzado.

El primer procedimiento, indiscutiblemente, representa las condiciones reales de acomodo y compactación del concreto lanzado, además de que permite conocer los espesores reales y, si se requiere realizar pruebas de adhesión entre el concreto lanzado y la roca ó terreno ó superficie de aplicación, al menos para obtener un juicio visual de ésta.

El segundo procedimiento de muestreo es muy empleado, aún cuando, para lograr que la muestra represente lo mejor posible las condiciones de campo, exige también cuidados particulares y plantea condiciones de trabajo difíciles que resultan también en un costo considerable. El muestreo se efectúa utilizando charolas ó artesas con la forma de un trunco de pirámide de base rectangular (60 x 60) y poca altura (10 a 15 cm). Las charolas normalmente son de madera y se colocan contra la superficie sobre la que se está lanzando; de tal manera que se llenen del concreto de las mismas características y en las condiciones de compactación que el que queda adherido a las paredes ó techo de aplicación.

En rigor, ésto es un tanto difícil de lograr y con frecuencia -- se obtienen muestras que no son representativas. Del concreto de las charolas se obtienen a su debido tiempo los núcleos ó cubos de ensaye.

ENSAYES

La verificación de la calidad del concreto lanzado requiere en primer lugar, de ensayos de resistencia a compresión simple en especímenes cilíndricos ó cúbicos; los primeros rara vez tienen la relación de esbeltéz de 2:1 normal para concreto convencional. Por esa razón, se acostumbra corregir la resistencia para referirla a la esbeltéz estandarizada. Los cilindros que se extraen con broca de diamante (diámetro entre 5 y 8 cm), requieren de corte de cabezas con disco y a veces de un desbastado con abrasivo. También es usual que, después del corte de las cabezas, se emplee algún compuesto a base de azufre para garantizar que los extremos del espécimen son paralelos entre sí y perpendiculares a la generatriz del cilindro.

Otros ensayos que pueden realizar con los mismos especímenes, son los de peso específico y absorción de agua como medidas del grado de compactación logrado.

La resistencia a la ruptura, a la compresión (resistencia-equivalente de un cilindro normal) de concreto lanzado, frecuentemente excede a 70 N/mm², y los esfuerzos a la tensión alcanzan 4 N/mm².

En general, éstos valores tan elevados se deben al alto grado de compactación alcanzado, al alto contenido de cemento y a la baja relación agua-cemento. Sin embargo, las variaciones son frecuentemente grandes, y el uso de pequeñas muestras tiende a exagerar la resistencia aparente. El diámetro recomendado para corazones de concreto lanzado con un espesor hasta de 100 mm, es de 50 mm, y de 90 mm para espesores mayores, los que se usan en recubrimientos de túneles, paredes de tanques de almacenamiento.

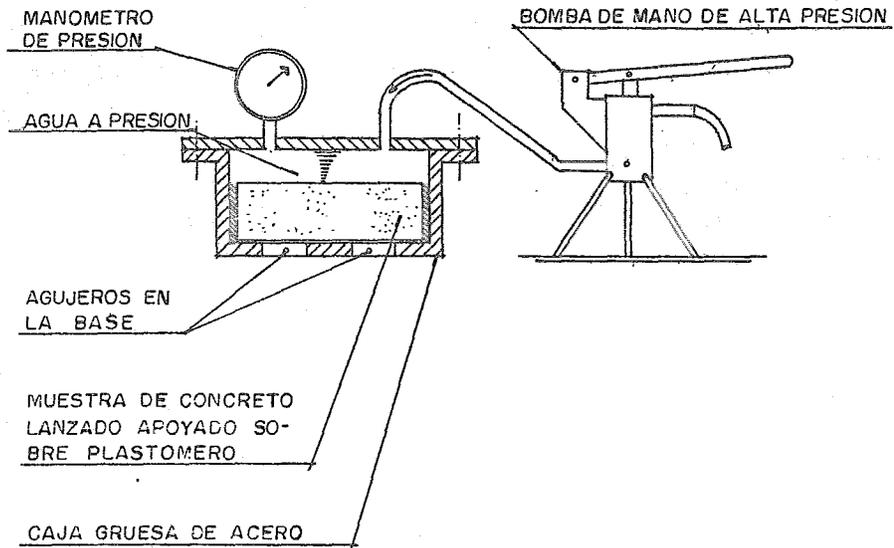
La prueba de adherencia es peculiar para el concreto lanzado; y puede especificarse cuando la adherencia del concreto lanzado a la base es de primordial importancia, como en revestimientos de túneles, capas resistentes a la abrasión, reparaciones de muros marítimos, etc. La prueba de adherencia se registra por medio de un tensómetro unido a un cable de malacate; y ésta debe ser superior a 1 N/mm² a los 10 días, para que ésta sea aceptable para fines estructurales.

Absorción. El agua absorbida, por una muestra de concreto lanzado por inmersión simple, no debe exceder del 10 %, siendo normal del 6 al 7 % .

Resistencia a los ácidos. La resistencia al ataque de los ácidos se determina por inmersión de diversas muestras en varias concentraciones de ácido por determinado tiempo. En general, el concreto lanzado tiene una resistencia superior a la del concreto normal debido a su alto grado de compactación y a su alto contenido de cemento. El empleo de cemento aluminoso ó el cemento resistente a los sulfatos, incrementa aún más ésta resistencia.

Permeabilidad. En la mayoría de las pruebas de permeabilidad se aplican presiones elevadas de agua por un lado de la muestra y se determina (en caso de haberla) el grado de permeabilidad. El concreto lanzado es muy impermeable, lo cual puede demostrarse con una sencilla prueba en un recipiente a presión. En un recipiente (figura siguiente), se coloca una muestra de concreto lanzado de 50 mm de espesor, el cual puede soportar una presión de 700 KN/m² sin que se aprecie filtración alguna.

APARATO PARA PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.



La angularidad de los agregados se puede medir por la relación de vacío siguiente:

$$\text{Relación de Vacío} = 1 - \frac{\text{Densidad Material Suelto}}{\text{Densidad del Agua}}$$

Si la relación de vacíos es pequeña, es un índice de que la arena es angular, siempre que no exista un exceso de finos.

C A P I T U L O Q U I N T O

DESARROLLO TECNICO

- A) El Robot
- B) El Trixer
- C) El Robot-Trixer
- D) El Blasmixer
- E) Lanzado Automático
- F) Acelerantes y Bombas Dosificadoras

DESARROLLO TECNICO

Mientras que los sistemas usados internacionalmente en túneles se han vuelto más avanzados y mecanizados, los métodos de -- concreto lanzado en la mayor parte de los países son los mismos-- todavía que los usados varias décadas atrás. El avance de excava-- ción en túneles se puede hacer hoy en día con equipos de frente-- entero, mientras que los materiales para concreto lanzado toda-- vía se preparan con mezcladoras sencillas y se colocan usando -- chiflones sostenidos por personas.

La intención del desarrollo del concreto lanzado en Suecia, ha sido acompañar las tendencias modernas en trabajos de túneles y lograr procedimientos más seguros y efectivos para la aplica-- ción de concreto lanzado.

Una solución ha sido el Robot, es decir, el chiflón operado a control remoto. Los desarrollos más recientes han llegado a uti-- lizar máquinas con varios chiflones completamente automáticos-- trabajando en conjunto con los equipos de frente entero. Se en-- cuentran en estudio otros desarrollos en éste campo basados en -- principios totalmente nuevos. Otros resultados son el Trixer, -- con transporte revolver de mezcla seca; el Robot-Trixer (una - unidad móvil para mezclar y lanzar operada por un solo hombre);-- los aditivos acelerantes líquidos y las bombas de acción conti-- nua para su dosificación.

EL ROBOT

Durante la excavación de un túnel en la planta Holjes en -- Suecia (1957 - 1961) se encontraron dificultades tan grandes con cuarzos porfiríticos desintegrados que el avance casi se suspen-- dió. Derrumbes de importancia hacían que el concreto lanzado ma-- nualmente fuera muy peligroso ó casi imposible. Se requirió la -

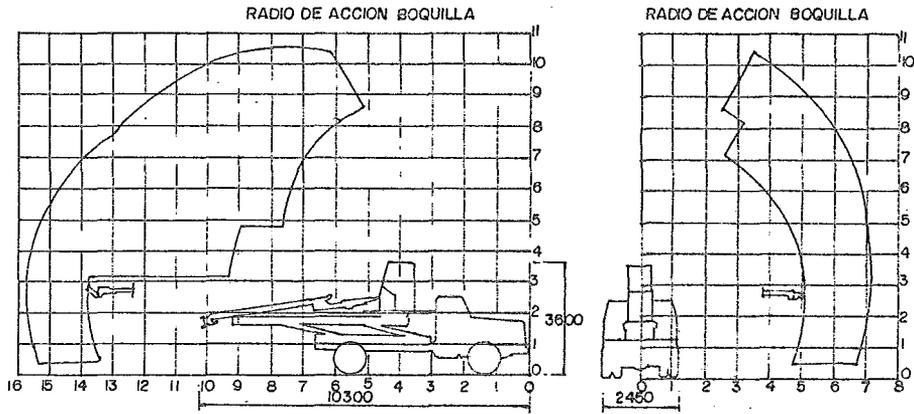
construcción de un dispositivo para lanzar concreto a control remoto, el cual tuvo tanto éxito que se abandonó la idea de colocar revestimiento convencional y se reconoció al concreto lanzado como único medio de soporte. Desde entonces el sistema Robot, se ha perfeccionado y ha llegado a ser un equipo estándar en soporte de túneles en Suecia.

Las ventajas que ofrece un chiflón operado a control remoto son numerosas. Se puede tratar a la roca según se exponga después de cada tronada, ya que el brazo Robot puede pasar sobre el montón de rezaga, se pueden evitar los trabajos difíciles y lentos para desprender ciertos materiales que pudieran debilitarse. El lanzador trabaja con completa seguridad, protegido por una capa de concreto lanzado aplicada anteriormente.

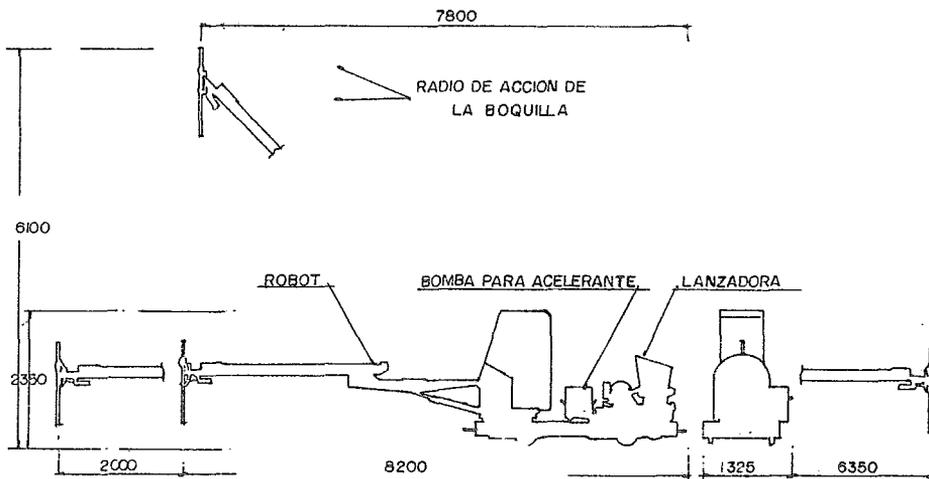
Cuando se aplica manualmente en la clave es muy dificultoso obtener buenos resultados, ya que el lanzador tiende a aplicarlo oblicuamente; ésto además aumenta el rebote. También, al estar parado bajo una lluvia de rebote no puede ver lo que está haciendo. Esto significa que, el soporte en la clave del túnel es más delgado y de calidad inferior. El Robot elimina éstos inconvenientes. Con la ayuda de reflectores potentes en la pluma, se puede tener una visibilidad perfecta del chiflón y de la roca. Por lo consiguiente, es posible alcanzar una gran área de roca desde una sola posición, y aplicar varias capas y aún, algunas veces no utilizar aditivos acelerantes sin perjuicio de la calidad del concreto lanzado.

La mayor ventaja del sistema Robot está en poder atacar y cubrir una zona de caídos rápida y eficientemente. Cuando se aplica a mano el concreto lanzado, es extremadamente peligroso y virtualmente imposible tratar grandes zonas de caídos ó derrumbes, ya que el tiempo disponible para detener éstas situaciones-

es corto. Si no se toman medidas para controlar la iniciación de caídos, generalmente ocurren condiciones peligrosas, que pueden llegar a cerrar el túnel.



ROBOT, tipo Stabilator 75, en plataforma hidráulica, en posición baja.



ROBOT 75, sobre vagón en rieles.

EL TRIKER

El método clásico de premezclar en seco los ingredientes -- para concreto lanzado, siempre ha sido uno de los aspectos discutibles en el proceso. Es difícil poder cumplir con las especificaciones que se refieren a la edad del concreto lanzado fresco. Con el aumento constante entre las estaciones de mezclado y de lanzamiento, la pérdida de tiempo por transporte puede ser inaceptable al no poder garantizar una buena calidad de la mezcla.

Cualquier tipo de contratiempo causado por retrasos en las tronadas, fallas mecánicas, descarrilamientos, u órdenes inesperadas pueden obligar a vaciar los materiales premezclados. No -- existe sin embargo, el riesgo de usar accidentalmente una revolutura pasada ó deteriorada. Las comunicaciones deficientes, que -- no sean extraordinarias, en trabajos de túneles aumentan los problemas.

Estas fueron algunas de las razones por las que se pensó -- que se tenía que idear un sistema combinado mejor para transportar y colocar el concreto lanzado.

El Triker (transporte-mezcladora) lleva el cemento y los agregados en recipientes separados. La mezcla se lleva a cabo, -- en las proporciones deseadas para cumplir con necesidades locales durante el lanzamiento mismo. El Triker debe estar por lo tanto listo para operar inmediatamente en cualquier parte. Dado que la máquina está diseñada para arrancar en el momento, siempre produce la cantidad de concreto lanzado necesaria. Se evita el desperdicio de materiales, y aumenta la calidad del concreto lanzado, -- ya que solo pasa concreto lanzado fresco por el chiflón.

Cuando se usan procedimientos de premezclado, normalmente, se debe instalar una estación mezcladora para cada frente de trabajo. Con el sistema Triker, solo se requieren estaciones para suministro de material, ya que un solo equipo Triker puede dar servicio a varios frentes.

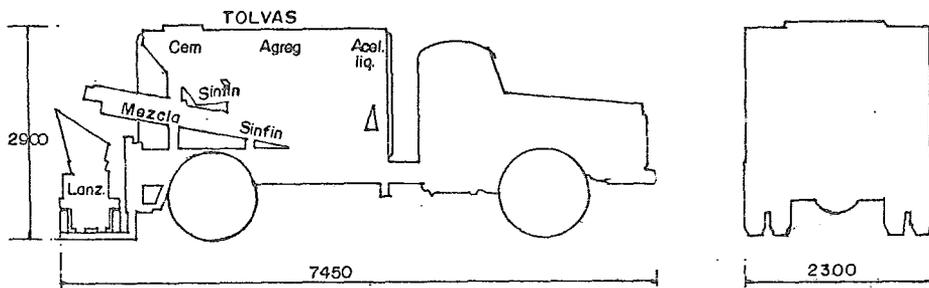
EL ROBOT-TRIXER

En años anteriores, ha existido una tendencia para construir equipos de lanzado demasiado grandes y costosos, que requieran varios operadores con capacidades nominales muy superiores a los requisitos técnicos y económicos, aprovechadas únicamente en proyectos excepcionales.

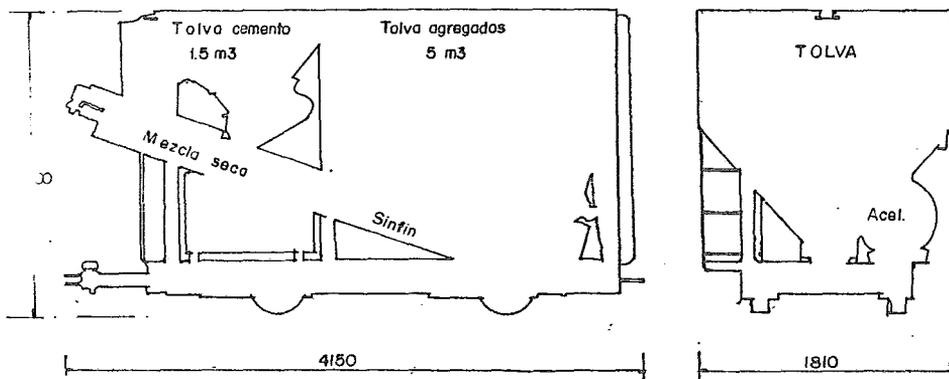
En consecuencia, la compañía sueca Stabilator planeó una unidad compacta y fácilmente maniobrable, que denominó Robot-Triker. Este equipo autopropulsado combina las ventajas de lanzado a control remoto con el proporcionamiento y mezclado de cemento, agregados y acelerante.

Esta unidad, está altamente automatizada, solo un hombre se encarga del transporte, proporcionamiento, mezclado, dosificación de aditivo y lanzado. En ésta forma, se pueden reducir notablemente los retrasos, tiempo de aplicación, y de desplazamiento. Se pueden realizar trabajos técnica y económicamente satisfactorios, gracias al uso de los chiflones orientados en varias direcciones.

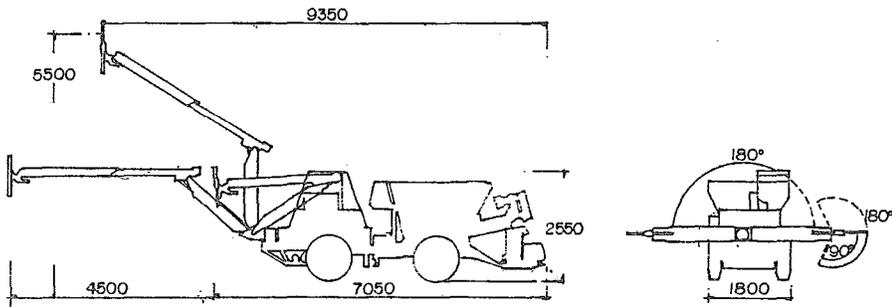
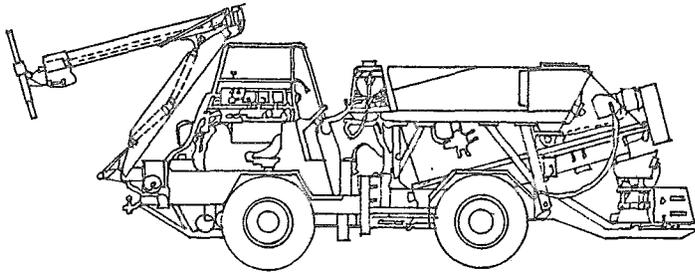
La versión del Robot-Triker, se planeó especialmente para usarse en minas donde los espacios reducidos para túneles son muy frecuentes. La capacidad del material para ésta unidad es de 4.5 m³, que resulta suficiente para recubrir después de cada ciclo de excavación. La capacidad nominal de mezclado es de 7.0 m³/hr, que es suficiente para abastecer los equipos usados en ese tipo de trabajos. La unidad es propulsada por un motor Deutz de 58 H.P., puede desplazarse a 17.0 km/hr y subir pendientes hasta de 12.0 %



TRIXER. (carro de agregados), tipo B 1.5-4.0, sobre camión.



TRIXER. (carro de agregados), tipo S 1.1-3.8, en plataforma sobre rieles.



ROBOT - TRIKER

EL BLASMIXER

Se ha fabricado últimamente una nueva máquina para colocar concreto lanzado llamada Blasmixer, que es simplemente una enorme lanzadora, formada con paletas, que usa tubos de un diámetro de 150 mm y aire a baja presión en grandes volúmenes para conducir la mezcla seca hasta la boquilla que contiene el dispositivo de distribución de agua. Esta máquina es capaz de colocar hasta 50 toneladas de concreto por una hora a una distancia horizontal de 300 m. Los fabricantes están de acuerdo en que no existe un grado muy elevado de compactación, pero sí, en que la introducción de una sobrealimentación de aire a presión elevada en la boquilla, como en el lanzamiento de mezcla húmeda, puede producir concreto que se acerque a la compactación del concreto normal.

LANZADO AUTOMATICO

Este sistema, consta de un equipo montado sobre rieles para lanzar concreto automáticamente; diseñado para un túnel ferroviario que se perforó en Heitersberg, Suiza. La capacidad de producción de concreto lanzado tenía que ser muy alta y continua y todo el equipo para la construcción del túnel estaba montado sobre rieles. En éste trabajo, se tuvieron que usar tolvas alimentadoras entre el Trixer y los cañones. El equipo de lanzado, Autospritzten, que fué realizado por Stabilator y Prader, controlaba automáticamente hasta tres chiflones. También se ha aplicado concreto lanzado en lumbreras, auxiliándose por cámaras de televisión para controlar el trabajo.

ACELERANTES Y BOMBA DOSIFICADORA

Existe en la actualidad una tendencia muy marcada en el uso de acelerantes líquidos en lugar de productos en polvo. El cambio de polvo a líquido se debe principalmente al incremento en la calidad del concreto lanzado que se puede lograr sin sacrificar los beneficios reales del fraguado acelerado. Además de que se evitan taponamientos del equipo de lanzado, el deterioro implícito y el mal funcionamiento; ya que el líquido acelerante entra en las mangueras justamente en el chiflón. Se evita el efecto indeseable del fraguado, que ocurre al usar polvos, desde que se añade el acelerante hasta que la mezcla sale por el chiflón. El efecto del fraguado instantáneo mejora, y la calidad del concreto lanzado aumenta.

Se afirma que el éxito de la capa de concreto lanzado como soporte de roca, depende de la magnitud de la capacidad que se pueda lograr en el menor tiempo posible. Esto significa que debería aplicarse el concreto lanzado lo más pronto posible después de hacer las tronadas, y que sería muy conveniente contar con una alta resistencia a edades tempranas. El primer requisito, se puede lograr fácilmente usando plantas técnicamente reconocidas para el lanzado, tales como el Robot y el Trixer; y el segundo, utilizando acelerante líquido.

Introduciendo agua y acelerante en una bomba dosificadora en buenas condiciones, se pueden obtener las proporciones requeridas directamente en el chiflón. Así, es posible manejar concreto lanzado de fraguado casi instantáneo. Los sistemas de mezclado por volumen para fabricar concreto lanzado, no son recomendables cuando se usan acelerantes, ya que la presencia de humedad en los agregados puede causar un fraguado prematuro.

El Consejo Estatal de Energía de Suecia, realizó pruebas de penetración Proctor Modificada para la primera parte (0 a 1.5 -- MPa) y con pruebas de agujas para la otra parte (1.5 a 10 MPa). Después, se desarrollaron muchas pruebas de laboratorio para determinar la resistencia a compresión real. Se debe tener presente que la mayoría de los acelerantes usados en concreto lanzado, reducen la resistencia final del mismo. Los acelerantes líquidos para concreto lanzado, generalmente, se basan en silicatos compuestos y no poseen cloruros.

Cuando se requiere el desarrollo de un fraguado rápido ó -- una resistencia prematura, bajo ciertas condiciones, podrá usarse cloruro de calcio u otro aditivo aprobado (aluminatos, silicatos). Nunca deberá usarse el cloruro de calcio en una cantidad mayor del 2 % en escama, ó 1.5 % anhídrico por peso del cemento, excepto cuando se necesite un "fraguado de destello" para obtener filtraciones. Aún en éste último caso, cuando existe acero de refuerzo, es preferible usar acelerantes apropiados basados en aluminosilicatos ó carbonatos.

Los aditivos que contengan cloruros de calcio no deberán usarse en concreto lanzado expuesto al agua de mar ó al agua que contenga sulfatos, ó en concreto lanzado que esté en contacto con acero preesforzado ó en donde aquel recubra metales disimilares (como aluminio y acero), en contacto entre si.

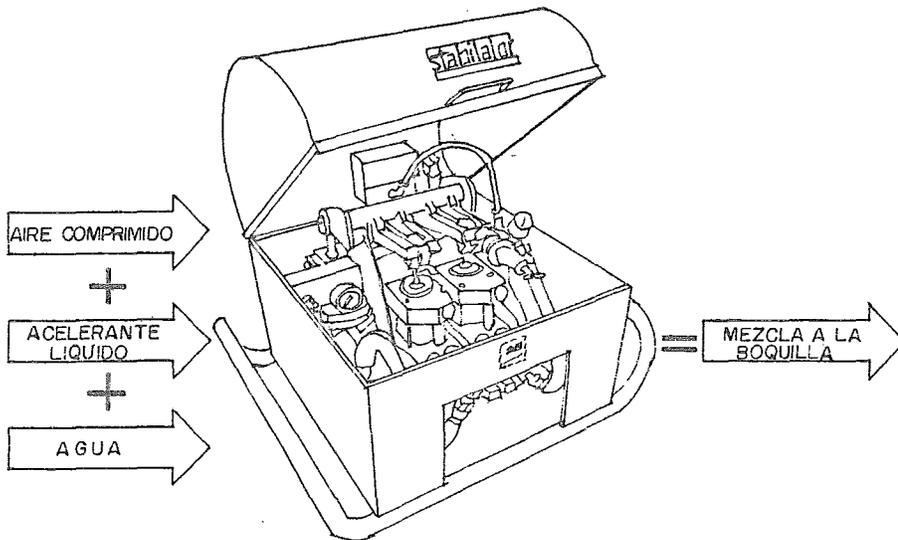
Ciertos aditivos espumantes, que reducen la tensión superficial del agua e incrementan su habilidad humectante, pueden usarse con algún efecto para reducir el porcentaje de rebote. Estas sustancias frecuentemente se usan en unión con acelerantes; pudiéndose obtener éstas características premezclando éstos aditivos.

Los agentes inclusores de aire no se usan, a menos que tengan propiedades impermeables adicionales.

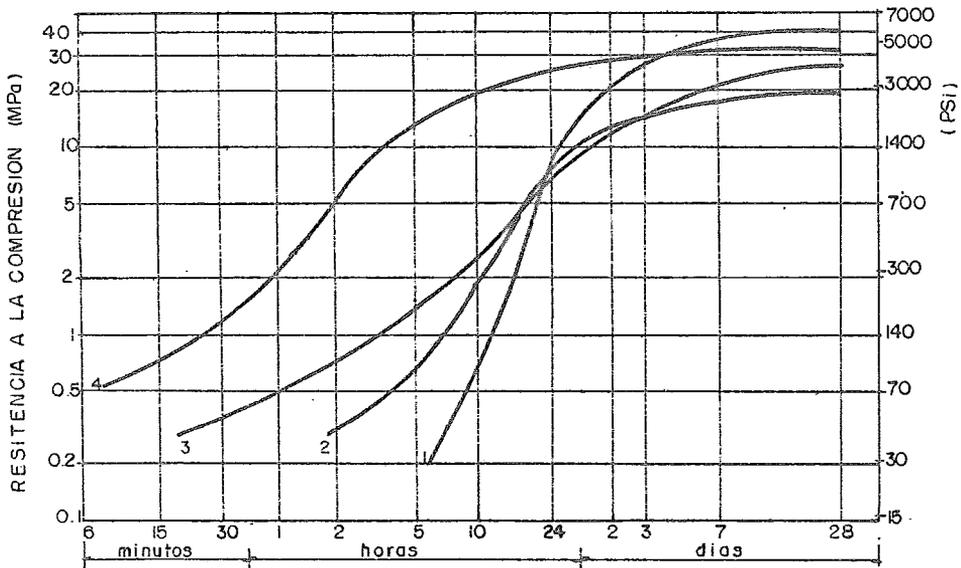
Los aditivos solubles deberán disolverse en agua antes de añadirse a la mezcla. Generalmente se mezclan en un tambor ó tanque con agua y la solución se bombea a la boquilla. Los polvos insolubles se mezclan con el cemento antes que éste se mezcle con el agregado.

Operación de la bomba. Finalmente, se diseñó una bomba de doble acción pequeña y ligera, que hacía posible combinar el aditivo concentrado y el agua, directamente hasta el frente de trabajo. Ya que la relación agua-acelerante debe variar instantánea y continuamente, con ésta bomba la concentración de acelerante se puede modificar para adaptarse a las condiciones hidro-geológicas existentes.

Mientras no se necesita presión para introducir agua, la manguera de salida se puede regular hasta 215 lb/m². El sistema puede usarse aún donde no existan líneas de agua. La bomba arranca ó se detiene automáticamente dependiendo de si la válvula del chiflón está cerrada ó abierta. La aplicación de la bomba de acelerante ha demostrado ser un avance importante en los procedimientos de concreto lanzado.



Bomba para dosificar, mezclar y presionar acelerante líquido concentrado y agua.



**EFECTO DE DIFERENTES ACELERADORES EN LA RESISTENCIA
A LA COMPRESION .**

- 1º NINGUN ACELERADOR
- 2º ACELERADOR EN POLVO, CANTIDAD NORMAL .
- 3º ACELERADOR LIQUIDO, CANTIDAD NORMAL .
- 4º ACELERADOR LIQUIDO, CANTIDAD EXCESIVA MODERADA

C A P I T U L O S E X T O

APLICACIONES PRACTICAS, MEXICO Y OTROS PAISES

- A) México
- B) Colombia
- C) Perú
- D) Panamá
- E) Otros

MEXICO

Antes de 1962, únicamente se había utilizado en México la "gunita" en la reparación de los túneles de Tequisquiac, empleando el procedimiento de mezcla seca; éstos tenían revestimiento de mampostería ya muy deteriorado; el revestimiento nuevo se formó con concreto lanzado con agregado grueso de tamaño máximo de 9.5 mm (3/8").

La primera aplicación en gran escala, se tiene en el sistema de Drenaje Profundo de la ciudad de México en 1969, donde se tratan únicamente dos frentes de trabajo con éste sistema; su empleo se extiende hasta que en el período de 1971-1972, se trabajan 20 frentes simultáneos de concreto lanzado (en el período de mayor actividad de excavación) y 36 frentes en total donde se aplicó el sistema.

El proyecto del Emisor Central, se distingue por ser probablemente, el túnel continuo mas largo en el mundo; por esa misma razón, se tuvieron que aplicar más de 225,000 m³ de concreto lanzado, en un plazo de poco más de 5 años. Esta parte del proyecto consistía en más de 100 km de túneles para el drenaje de la Ciudad de México. Casi la mitad eran túneles de 6.5 m de diámetro y el resto de 8.0 m de diámetro. También se construyeron lumbreras a profundidades entre 40.0 y 220.0 m.

El trabajo se desarrolló en condiciones muy variables de roca. Se combinaron dificultades técnicas muy grandes con cantidades enormes de agua; como probablemente en ningún otro trabajo de túneles.

La geología del Sistema se puede agrupar principalmente en 4 grupos :

1. Las conocidas arcillas bentoníticas de la Ciudad de México.
2. Tobas arenosas sedimentarias del lago.
3. Rocas volcánicas jóvenes como riolita, dacita, andesita y - basalto.
4. Arcillas y esquistos.

También se presentaron formaciones de compacidad media, tales como aglomerados, conglomerados, brechas, sedimentos fluviales, etc.

Al principio de los trabajos había 9 compañías independientes, que más tarde formaron un consorcio. Algunas compañías, preferían utilizar arcos metálicos para soporte temporal, hasta que después de un año se optó en todo el proyecto por utilizar el --- concreto lanzado. Así se pudieron lograr avances hasta de 250 m--- mensuales, a pesar de presentarse condiciones tan adversas.

La magnitud del proyecto requirió más de 1,000 trabajadores 48 lanzadoras, 52 trixer, 2 plantas de agregados, 24 estaciones--- de concreto y agregados, 8 estaciones de acelerantes, 2 talleres y una planta para producir acelerante líquido. El cemento se --- transportaba neumáticamente desde la superficie donde había 2 si los de 40.0 toneladas cada uno, hasta los silos auxiliares en el interior de los túneles.

Los agregados se abastecían a través de tolvas de 40.0 a 80.0 m³, pudiendo cargar un trixer en aproximadamente 5.0 minutos. El acelerante se abastecía de manera semejante, a partir de tanques situados en la superficie que se conectaban a tanques auxiliares cercanos a la zona de trabajo,

En los frentes, el acelerante se transportaba usando aire a presión hasta un tanque de 1,000 litros en el Jumbo y de ahí a dos bombas conectadas a los chiflones de lanzado. El concreto lanzado se aplicaba con dos máquinas trabajando simultáneamente al mismo tiempo que se rezagaba.

El espesor típico de concreto lanzado varió de 5.0 cm a 15.0 cm. En ocasiones la adhesión entre el concreto lanzado y la roca fué muy pobre, pero aún así se pudo lograr una estructura semirígida que permitió la formación de una zona de roca comprimida. Para obtener adherencia artificial entre el concreto lanzado y la roca, se colocaron varillas de 60.0 cm de longitud a cada 40.0 cm entre sí sin inyección, y anclas de 3.0 m de longitud en los sitios donde se esperaban problemas. Uno de éstos problemas, de los más importantes, se presentaba en las intersecciones con el techo y con el piso; un error generalizado al aplicar concreto lanzado en materiales suaves, es no completar el piso del túnel. La roca parece moverse hacia arriba y hacia abajo separándose de las paredes; el piso del túnel se levanta y el concreto lanzado de los muros se rompe dejando vacíos entre el concreto y la roca. Cuando se coloca el concreto lanzado prematuramente, aparecen fallas en los arranques del arco del techo; y colocar malla como refuerzo mejora la situación pero a veces resulta insuficiente. Se recurrió también a colocar puntales en la base del túnel, pero no evitaban el problema, y aún, fallaban drásticamente.

La solución más efectiva en éstos casos, es la de completar el concreto lanzado formando un círculo completo, incluyendo el piso. Es típico en túneles excavados en éste tipo de materiales -- que los mayores problemas no ocurren en la clave, siempre y cuando el techo forme un buen arco. Las grietas que se presentan son por flexión, pero no es necesariamente cierto que constituyan la causa principal del concreto lanzado; muchas de éstas grietas se estabilizan y finalmente no causan problemas .

Una observación relativa a la sección herradura, es que presenta buen comportamiento si se va a colar el piso, pero en caso contrario es preferible que los muros tengan una ligera inclinación convergente hacia arriba; también es deseable que el contorno de los muros y el techo sea convexo, ya que las concavidades provocan esfuerzos de tensión y propician roturas.

En lugares donde había toba muy suave y quebradiza, ó donde existía riolita muy alterada con tendencias muy expansivas, se colocó un sistema de anclas de 3.0 m de longitud aproximadamente con inyecciones pero sin preesfuerzo.

Cuando se encontraron arcillas expansivas, se aplicó concreto lanzado, se retiraron los marcos metálicos y se sustituyeron por puntales en el piso. Cabe hacer notar que, cuando se usaron marcos metálicos sin concreto lanzado, ó cuando su espesor era insuficiente, se presentaron movimientos grandes en la roca y de formaciones notables en los marcos.

En formaciones de conglomerados fluviales, una capa de 5.0- a 10.0 cm de espesor, proporcionó todo el apoyo necesario, aunque tenían que adoptarse precauciones especiales cuando había -- gran cantidad de filtraciones de agua. Otra parte importante del túnel se perforó a través de marga sedimentaria vercosa usando -- equipo de frente entero, pero se abandonó el procedimiento des--

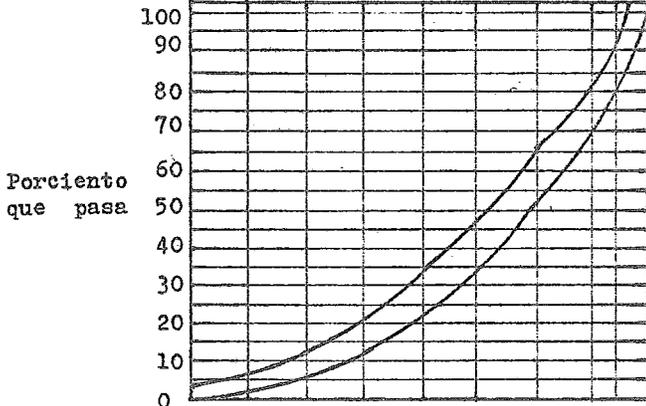
pués de que se atascó varias veces. El trabajo se continuó usando el procedimiento del concreto lanzado.

La arcilla se desprendía con martillos neumáticos, una vez que se aflojaba la parte central de la sección. Mostraba relativamente buena capacidad al cortante cuando conservaba su contenido natural de agua. Se encontró conveniente dejar pasar de 2.0 a 8.0 horas antes de aplicar el concreto lanzado. Cuando la arcilla perdía humedad y la recuperaba después, se volvía un material muy peligroso que se desintegraba explosivamente. Después, se aplicó el sistema del concreto lanzado y se pudo avanzar de uno a ocho metros diarios.

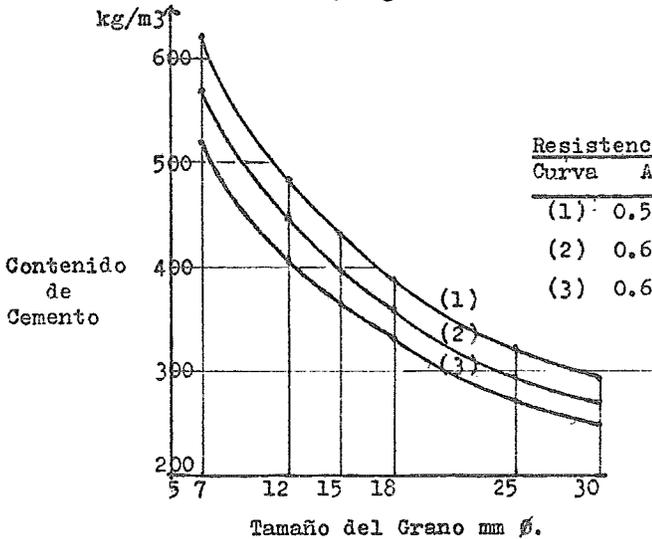
Otra experiencia significativa de éste trabajo, fué observar la capacidad del concreto lanzado para resistir movimientos causados por sismos. Aunque se presentaron varios temblores de importancia durante la construcción, el concreto lanzado no demostró daños; mientras que algunas estructuras de concreto convencional si los resintieron.

LIMETES DE GRANULOMETRIA ESPECIFICADOS PARA LAS OBRAS DEL DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

CONCRETO LANZADO. Límites Granulométricos.
200 100 50 30 16 8 4 3/81/23/4 Malla



Relación Cemento-Tamaño de Grano-Calidad.
(Drogslor)



El contenido de cemento, viene relacionado por los requisitos de resistencia y por el tamaño máximo del agregado. Requisitos exagerados de resistencia implican un contenido de cemento excesivo, lo que da lugar a contracciones y agrietamientos también excesivos.

En el Drenaje Profundo de la ciudad de México, se especificó una relación de cemento a agregados de 1 a 4 en promedio, esto es (450 kg/m³); y no se presentaron agrietamientos de importancia. Se aplicó una dosificación de aditivo que varió de 2.0 y 6.0 % del peso del cemento. Este nos permite aumentar el espesor de las capas de concreto lanzado, y el fraguado rápido y endurecimiento que provoca, le da al revestimiento resistencia para soportar tronadas a las pocas horas de aplicado, reduciendo además el rebote.

En las primeras aplicaciones, cuando el espesor es muy delgado, se suele emplear más cantidad de aditivo para lograr una alta adhesividad aún a costa de una resistencia a la compresión más baja (hasta 30.0 % menor que el concreto no acelerado). Las capas posteriores pueden llevar menos aditivo y su detrimento en la resistencia a la compresión será insignificante.

Un fraguado inicial máximo de 1 1/2 horas y uno inicial de 12.0 horas son los que especifican normalmente, pero éstos tiempos son demasiado largos, solo útiles para trabajos de recubrimientos. Si se requieren dominar las filtraciones de agua y soportar el terreno de poca cohesión, se requieren tiempos de fraguado inicial y final muy cortos. Para el túnel de Drenaje Profundo de la ciudad de México, se ensayaron pastas de mortero con distintos aditivos y cementos, y se lograron tiempos de 30.0 a 120.0 segundos.

RESUMEN DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESION MEDIDAS EN CONCRETO
LANZADO EN LA OBRA DEL DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE MEXICO.

	No. Datos (n)	Promedio	Desviación Estándar	Valor Máx.	Valor Min.
Resistencia 3 días	23	116 kg/cm ²	28.5 kg/cm ²	176 kg/cm ²	70 kg/cm ²
Resistencia 14 días	32	156 kg/cm ²	35.5 kg/cm ²	276 kg/cm ²	99 kg/cm ²
% de Grava	27	34.9 %	12.3 %	59.4 %	9.7 %
Pasa la ma- lla No. 100 lavado.	28	11.2 %	2.1 %	16.6 %	7.8 %
Contenido - de Cemento.	27	23.1 %	7.9 %	40.4 %	11.0 %
Peso Volum.	31	2181 kg/m ³	20.5 kg/m ³	2214 kg/m ³	2140 kg/m ³

LANZADO.

TRAMO : De lumbrera 4 a lumbrera 3 Emisor Central

PERIODO: Noviembre 1971 a Enero 1973.

TUNEL, S.A. DE C.V. (Gerencia de Concreto Lanzado).

	No. Datos (n)	Promedio	Desviación Estándar	Valor Máx.	Valor Min.
Resistencia 3 días	227	116.9kg/cm ²	35.7 kg/cm ²	310 kg/cm ²	27 kg/cm ²
Resistencia 14 días	316	155.7kg/cm ²	42.3 kg/cm ²	334 kg/cm ²	63 kg/cm ²
% de Grava	267	34.3 %	12.9 %	74.9 %	4.2 %
Pasa malla No. 100. La vado.	271	10.5 %	2.3 %	20.1 %	2.4 %
Contenido- de cemento.	263	20.5 %	7.2 %	50.5 %	5.4 %
Peso Volum.	316	2179 kg/m ³	27.6 kg/m ³	2282 kg/m ³	2070 kg/m ³

LANZADO.

TRAMO : Todo el Emisor

PERIODO: De Noviembre 1971 a Enero 1973.

TUNEL, S.A. DE C.V. (GERENCIA DE CONCRETO LANZADO).

En el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, se contó para el control de calidad y para el diseño con la asesoría de la firma Mason, Stewart y Dolmage de Canadá, que fué la introductora de la técnica del concreto lanzado en Norteamérica y la que asesoró las primeras aplicaciones en los frentes de la lumbrera O del Emisor.

En la capacitación del personal y en el aspecto operativo de la producción del concreto lanzado, se contó con el auxilio de la firma sueca Stabilator AB, que también había participado en las primeras aplicaciones antes mencionadas. La obra se organizó, para el empleo del concreto lanzado, en grupos de producción y en grupos de diseño, control de calidad y coordinación. Los grupos de producción eran brigadas de lanzado adscritas a los frentes de excavación, formadas para cada turno, por un cabo dos lanzadores y sus ayudantes, un operador de lanzadora y su ayudante, dos tolveros en superficie y dos tolveros en el túnel. Se procuró tener dos carros tolva alimentadores y dos lanzadoras por frente de lanzado.

Con ésto se puede concluir que, el concreto lanzado demostró ser una herramienta primordial y muy útil en la excavación del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Por primera vez en América a gran escala; ya que su aplicación abarcó una gran diversidad de condiciones difíciles de tuneleo, y aún en circunstancias de caídos, en terrenos blandos, en rocas muy fracturadas, en formaciones expansivas y plásticas y en presencia de grandes filtraciones de agua.

ESTUDIO Y CALCULO HIDRAULICO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO DE TUNELES CON CONCRETO LANZADO, RAMAL NORTE (TUNEL 4 Y TUNEL 5), SISTEMA CUTZAMALA.

INTRODUCCION

En muchos países se usa el concreto lanzado como revestimiento permanente de túneles, que incluye conductos para el transporte de agua.

Los países donde se tiene mayor experiencia en proyectos de éste tipo son: Suecia, Noruega y Finlandia. En Suecia no existe ni un solo túnel revestido con concreto hidráulico colado; ya sea para presas, drenaje ó agua potable. Sin embargo en Escandinavia la mayoría de los túneles se han construido en roca de buena calidad. Aunque existen muchas excepciones en roca suave, roca descompuesta, intemperizada y suelos, que no obstante han resultado experiencias en todos los casos.

1.- FRICCION Y CAPACIDAD

1.1.- Estudios

En Escandinavia se han hecho estudios extensivos respecto a la relación entre fricción superficial y la capacidad de túneles para el transporte de aguas. Estos estudios, prácticos y de laboratorio se refieren a la fricción en:

- a) Túneles sin ademe
 - a.1) Tronada normal
 - a.2) Tronada suave
 - a.3) Tronada con precorte.

b) Túneles con ademe

b.1) De concreto colado

b.2) De concreto lanzado

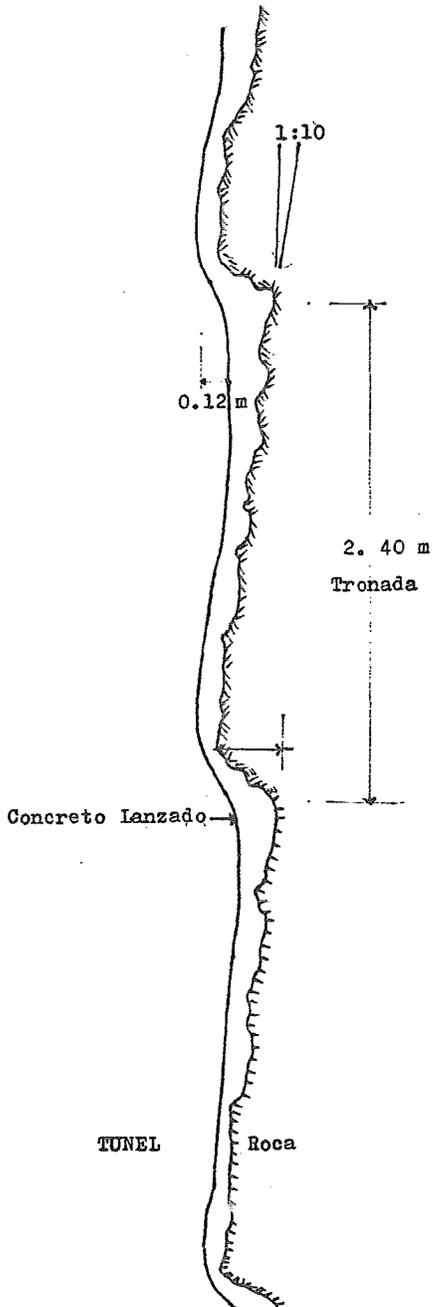
1.2.- Mediciones Túnel Ramal Norte

1.2.1) Se ha considerado que la capa de concreto lanzado, tiene el efecto de alisar la rugosidad de las paredes, producto de las ondulaciones ocasionadas por las tronadas con el método convencional ("Diente de Sierra"), suponiendo que la sobreexcavación (promedio 0.24 m con tronada de 2.40 m), se ha reducido aproximadamente hasta la mitad (0.12 m) como resultado de la aplicación del concreto lanzado.

1.2.2) El área excavada es de 16.19 m² (promedio de 402 mediciones). Considerando una capa de concreto lanzado de 0.15 m y un piso colado de 0.15 m, resulta un volumen de concreto lanzado de 1.51 m³ y 0.60 m³ de concreto colado, por metro lineal de túnel.

Se debe anotar que no se ha considerado que la capa de concreto lanzado llena primero las cavidades de la superficie, resultando así en un área en la práctica más grande. Además de que si las secciones topográficas se levantan con más detalle siguiendo la superficie de la roca, resultará un área más grande.

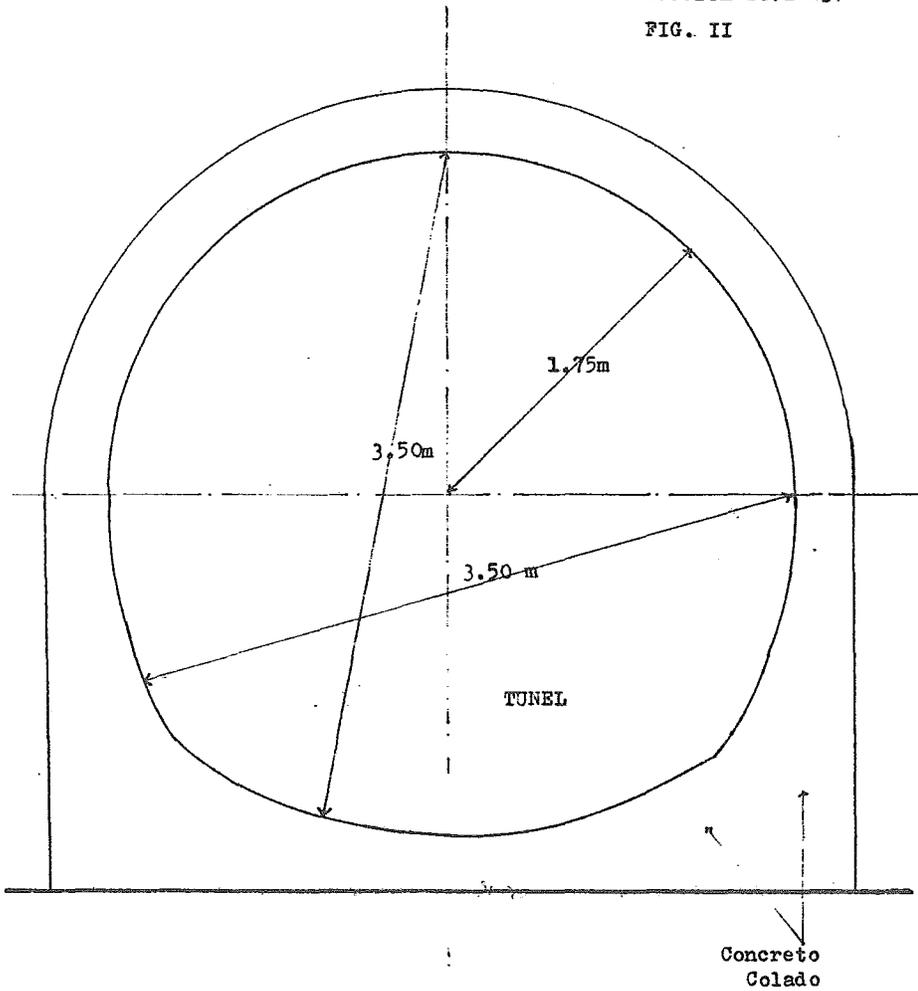
Por lo tanto, el área de túnel revestido con concreto lanzado de 13.88 m² resulta el área mínima por considerar.



EFFECTO DEL CONCRETO
LANZADO, PARA SUAVI
ZAR LA RUGOSIDAD --
CAUSADA POR LAS TRO
NADAS.

FIG. I

CONCRETO COLADO
Sección 10.1 m³.
FIG. II



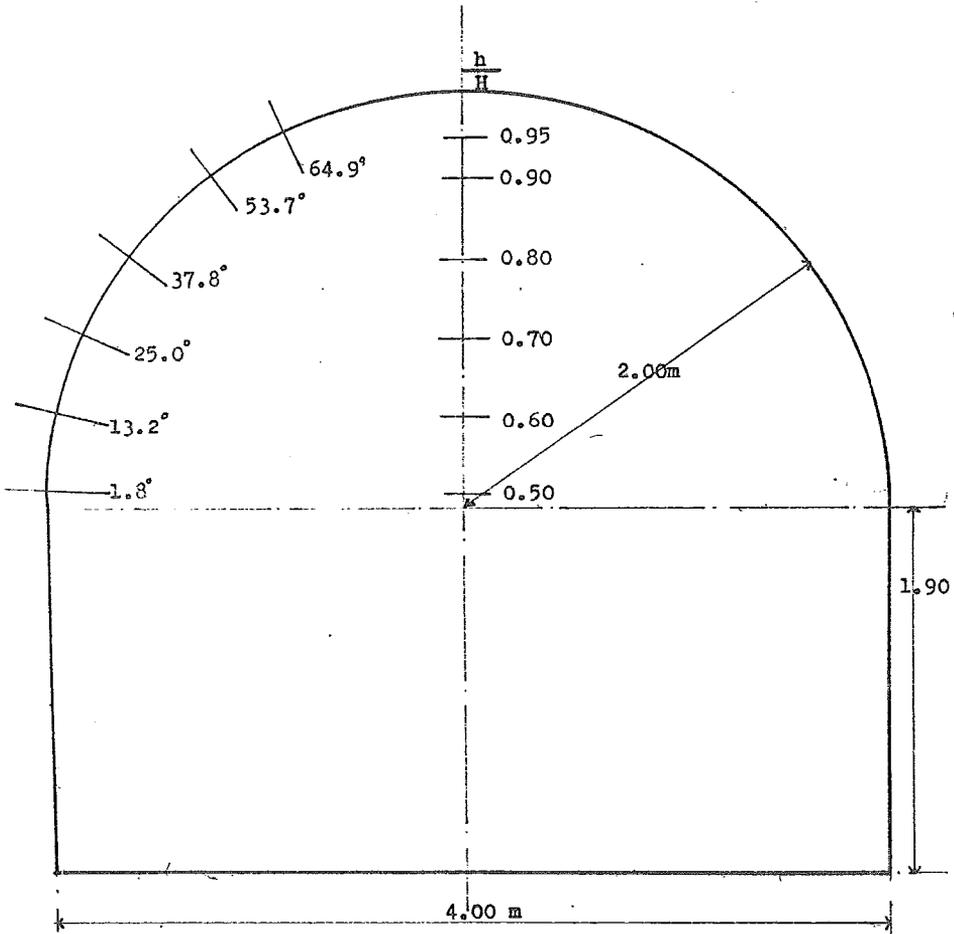
REVESTIMIENTO :

Concreto Lanzado (paredes-bóveda)-p.m. 0.15 m

Concreto colado (piso) - 0.15 m

Sección 13.9 m² .(Sección Efectiva, en base a 402 mediciones)

FIG. III



1.2.3) Coeficiente de fricción

Se acepta un coeficiente de fricción para piso colado de $f = 0.042$ (el límite más desfavorable) se obtienen las capacidades en la tabla I y curva I.

Como lo demuestran los cálculos, resulta para el túnel con área de 13.88 m^2 revestido con concreto lanzado y piso colado, una capacidad comparable con el túnel revestido con concreto colado con área de 10.09 m^2 .

Cabe hacer notar que, al mismo tiempo que un coeficiente de Manning de $n = 0.013$ correspondiente a $M = 76.9$ como el considerado como el factor de fricción en los cálculos para determinar la capacidad del túnel revestido con concreto.

Según las experiencias en Suecia, la rugosidad de arena (Sandroughness) según Nikuradse, de un revestimiento de concreto muy bien colado es mínimo 1.0 mm que corresponde a un $M = 73.9$ ó $n = 0.0143$.

2.- COMPARACION DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN

2.1.- Fórmulas usadas

2.1.1) Fórmulas de Manning

$$hf = \frac{V^2 \cdot L}{K^2 \cdot R^{4/3}} \quad ; \quad s = \frac{V^2}{K^2 \cdot R^{4/3}}$$

2.1.2) Fórmula general de fricción de Darcy-Weissbach

$$hf = f \frac{L}{4R} \frac{V^2}{2g}$$

hf = pérdida de tirante

f = coeficiente de fricción

L = longitud del túnel

R_h = radio hidráulico

V = velocidad del flujo de agua

g = aceleración de la gravedad terrestre

2.2.- Fricción en túnel excavado sin ademe de concreto lanzado (no revestido).

En túnel excavado por medio de barrenación y explosivos (método convencional) se acepta en general un coeficiente de fricción $n = 0.032$ correspondiente a $M = 31.2$. Tal excavación causa escalones originando una configuración regular (diente de sierra).

Los escalones resultan por :

- a) La necesidad de tener suficiente espacio en la periferia del túnel para la barrenación con perforadora de pierna.
- b) La longitud del avance por ciclo, aumenta la dimensión del escalón conforme aumenta la profundidad de barrenación.
- c) Voladuras. Con todo ésto resulta una profundidad de los escalones promedio de 0.24 m por avance de 2.40 m (1:10).

Según las mediciones realizadas en túneles en Escandinavia en túneles sin ademe y excavados en roca homogénea con sobrecavaciones normales (1:10) resultaron valores de f entre 0.045 y 0.070.

Para un túnel de aproximadamente 15.0 m² de sección, éste valor de f corresponde a un $M = 41.7$, ($n = 0.024$) y $M=33.1$. Se acepta el valor de $M = 33$, ($n = 0.0302$), como el más desfavorable antes de lanzar concreto.

2.3.- Fricción en un túnel revestido con concreto lanzado

Investigaciones en laboratorio acerca del coeficiente de fricción para dos diferentes profundidades de escalones, han demostrado que el valor de f decrece hasta ----

aproximadamente 60 % cuando a la profundidad de los escalones es reducida de 1:1 a 1:20 de la longitud del avance. De éste modo, si por medio de concreto lanzado la altura efectiva de los escalones se reduce hasta la mitad, es un hecho que se disminuye el valor de f máximo 60 % quedando así : $0.60 \times 0.070 = 0.042$.

Esto significa también que los escalones y los huecos deben llenarse parcialmente con concreto lanzado. Este efecto del lanzado sucede siempre automáticamente (ver fig. I. El valor de M será entonces 43.0 correspondiente a un $n = 0.023$, según la ecuación:

$$n = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{f \cdot Rh1/3}{8g}}$$

En un túnel con sección portal, con un ademe de concreto lanzado en paredes y bóveda, es preferible tener piso de concreto colado. Tal piso tendrá una rugosidad máxima de $M = 73$ correspondiente a un $n = 0.0137$.

2.4.- Fricción en túnel revestido con concreto colado

El túnel revestido con concreto colado tiene las siguientes dimensiones:

$$A = 10.09 \text{ m}^2$$

$$Rh = 1.0735$$

Un coeficiente de Manning para el concreto colado de $n = 0.013$ ó $M = 76.9$ corresponde a un $f = 0.013$ según la ecuación:

$$n = \frac{1}{M} \sqrt{\frac{fRh1/3}{8g}}$$

3.- CALCULOS

3.1.- Capacidad del túnel revestido con concreto lanzado

3.1.1) Según la fórmula de Darcy-Weissbach

TUNEL REVESTIDO CON :

Concreto Lanzado (paredes y bóveda) -- 0.15 m

Concreto Colado (piso) -- 0.15 m

TABLA I

$\frac{h}{H}$	TIRANTE m	AREA HUMEDA m ²	PERIMETRO MOJADO m	RADIO HIDR. M	f	VEL. AGUA m/seg	GASTO m ³ /seg
0.10	0.39	1.56	4.78	0.326	0.0178	1.69	2.64
0.20	0.78	3.12	5.56	0.561	0.0212	2.04	6.36
0.30	1.17	4.68	6.34	0.738	0.0237	2.21	10.34
0.40	1.56	6.24	7.12	0.873	0.0257	2.31	14.40
0.50	1.95	7.79	7.94	0.981	0.0273	2.37	18.49
0.60	2.34	9.30	8.68	1.071	0.0282	2.42	22.50
0.70	2.73	10.87	9.54	1.139	0.0299	2.44	26.57
0.80	3.12	12.19	10.44	1.168	0.0308	2.44	29.73
0.90	3.51	13.16	11.54	1.140	0.0320	2.36	31.10
0.95	3.705	13.63	12.30	1.108	0.0326	2.31	31.47
1.00	3.90	13.88	14.08	0.986	0.0337	2.14	29.73

Base Cálculos :

$$s = \frac{f}{4Rh} \frac{V^2}{2g}$$

Características :

$$s = 0.002$$

$$f(\text{piso}) = 0.013$$

$$f(\text{paredes y bóveda}) = 0.042$$

des y

bóve-

da.

$$g = 9.8$$

$$Rh = \text{Radio Hidráulico}$$

CAPACIDAD TUNEL REVESTIDO
CON CONCRETO LANZADO.

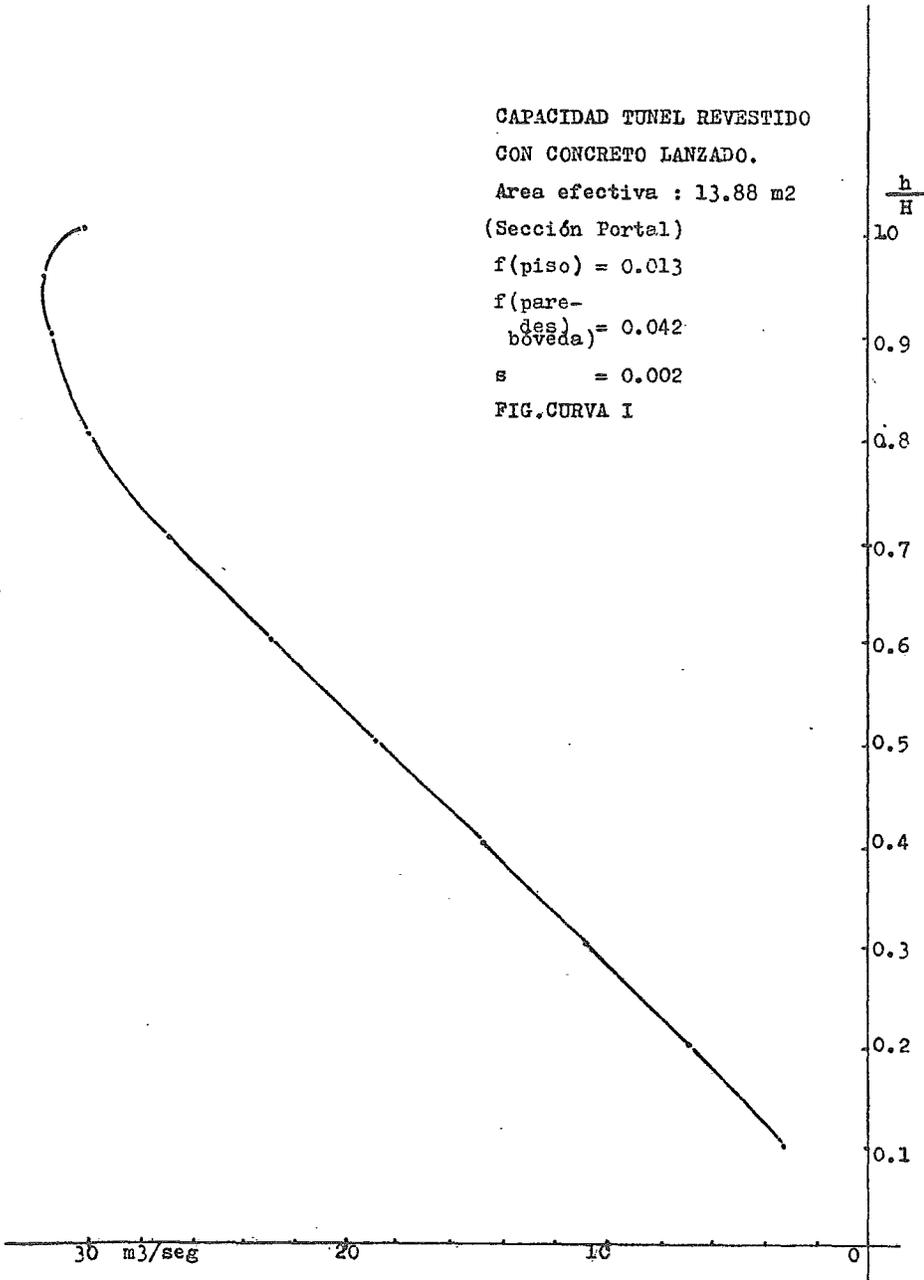
Area efectiva : 13.88 m²
(Sección Portal)

f(piso) = 0.013

f(paredes)
bóveda) = 0.042

s = 0.002

FIG. CURVA I



$$s = \frac{f}{4Rh} \frac{V^2}{2g}$$

Como resultado de los cálculos de la capacidad túnel Ramal Norte, revestido con concreto lanzado donde :

s = pendiente	= 0.002
f = coef. fricc. piso	= 0.013
f = " " paredes y bov.	= 0.042
g = acel. gravedad	= 9.8 m/s ²
Rh = radio hidráulico	= variable
Area = Prom. terminado	= 13.88 m ²
Sección tipo portal re- vestim. paredes y bóve- da :	= 0.15 m en
Revestimiento piso con concreto colado :	= 0.15 m

Debido a que se calcula con los coeficientes de fricción diferentes (paredes, piso) cambia el coeficiente de fricción con la altura (tirante) del nivel del agua.

3.1.2) Capacidad del túnel revestido con concreto lanzado

Según fórmula de Manning

Como verificación a la capacidad obtenida para el túnel revestido co. concreto lanzado se hizo otro cálculo en base a la ecuación :

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} s^{1/2}$$

Para la conversión del factor general de fricción f al coeficiente de M ó el factor de Manning invertido n se ha usado la fórmula :

$$n = \frac{1}{M} = \sqrt{\frac{fRh^{1/3}}{8g}}$$

RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN "f" Y LOS COEFICIENTES DE MANNING "M" Y "n" PARA DIFERENTES TIRANTES $\frac{h}{H}$ EN EL TUNEL REVESTIDO CON CONCRETO LANZADO .

Area = 13.88 m²

Sección tipo Portal.

TABLA II .

$\frac{h}{H}$	f	M	n
0.10	0.0178	76.92	0.01300
0.20	0.0212	66.96	0.01493
0.30	0.0237	60.50	0.01653
0.40	0.0257	56.50	0.01770
0.50	0.0273	53.76	0.01860
0.60	0.0287	51.67	0.01935
0.70	0.0299	50.11	0.01990
0.80	0.0308	49.16	0.02034
0.90	0.0320	48.43	0.02065
0.95	0.0326	48.23	0.02074
1.00	0.0337	48.35	0.02068

COMPARACION DE CAPACIDADES DEL TUNEL REVESTIDO CON CONCRETO LAN-
ZADO, EN BASE A LA FORMULA DE DARCY-WEISSBACH Y LA FORMULA DE ---
MANNING .

TABLA III

Darcy-Weissbach $hf = f \frac{L}{4R} \frac{V^2}{2g}$

Manning $Q = \frac{A}{n} Rh^{2/3} s^{1/2}$

$\frac{h}{R}$	Q Darcy-Weissbach m3/seg	Q Manning m3/seg	Desviación m3/seg	Q Promedio m3/seg
0.10	2.64	2.54	0.10	2.59
0.20	6.38	6.37	0.01	6.37
0.30	10.34	10.36	0.02	10.35
0.40	14.40	14.40	0.00	14.40
0.50	18.49	18.49	0.00	18.49
0.60	22.50	22.44	0.06	22.47
0.70	26.57	25.56	0.01	26.57
0.80	29.73	29.78	0.05	29.76
0.90	31.10	31.10	0.00	31.10
0.95	31.47	31.47	0.00	31.47
1.00	29.73	29.74	0.01	29.74

Se obtuvieron los valores anotados en la tabla II .
En base a los coeficientes variables sustituidos en -
la fórmula de Manning, se obtuvieron las capacidades-
anotadas en la tabla III.

Se hace notar que las capacidades obtenidas son casi-
idénticas con la fórmula de Manning y de Darcy-Weiss-
bach. También se han hecho otros cálculos con la fór-
mula de Manning a manera de comprobación.

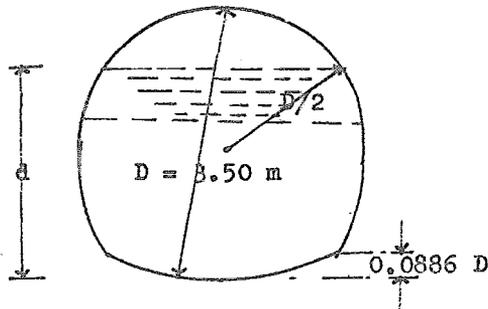
3.2.- Capacidad del túnel revestido con concreto lanzado

3.2.1) Según fórmula de Manning

En la tabla IV, se ven las capacidades y velo-
cidades del túnel calculados por la Comisión -
de Aguas del Valle de México.

Los valores indicados son basados en la fórmu-
la de Manning y un coeficiente de fricción de-
 $n = 0.013$. Como hemos visto anteriormente se -
debe considerar éste valor como algo bajo se-
gún las experiencias y mediciones realizadas -
en Escandinavia; es por ellos que se ha hecho
un cálculo de gastos en base de $n = 0.014$.

DIFERENTES CAPACIDADES DEL TUNEL CON SECCION HERRADURA, CON -
 $D = 3.50 \text{ m}$, PARA DISTINTOS TIRANTES. (AREA METROPOLITANA).



Según Manning : $Q = \frac{A}{n} R h^{2/3} s^{1/2}$

y suponiendo : $n = 0.013$ y $s = 0.002$

$$Q = 3.4401 (A) (R^{2/3})$$

AL sustituir ésta ecuación para las diferentes relaciones de tirante contra diámetro y los valores correspondientes de -- Area hidráulica y Radio hidráulico, se forma la Tabla IV.

DIFERENTES CAPACIDADES DEL TUNEL CON SECCION HERRADURA, D = 3.50 m
 PARA DISTINTOS TIRANTES.

TABLA IV.

$\frac{d}{D}$	Tirante	Radio Hidr.	Gasto	Vel.	$\frac{d}{D}$	Tirante	Radio Hidr.	Gasto	Vel.
$\frac{d}{D}$	m	m	m ³ /s	m/s	$\frac{d}{D}$	m	m	m ³ /s	m/s
0.02	0.07	0.0462	0.0288	0.44	0.75	2.53	1.0654	29.7076	3.589
0.07	0.25	0.1607	0.4309	1.02	0.76	2.66	1.0675	30.1252	3.593
0.0886	0.30	0.2023	0.7130	1.19	0.77	2.70	1.0693	30.5326	3.597
0.10	0.35	0.2345	0.9375	1.31	0.78	2.73	1.0710	30.9321	3.601
0.13	0.45	0.3133	1.6308	1.51	0.79	2.77	1.0724	31.3211	3.604
0.17	0.60	0.4064	2.7466	1.89	0.80	2.80	1.0733	31.6994	3.606
0.20	0.70	0.4694	3.7082	2.08	0.81	2.84	1.0735	32.0484	3.607(1)
0.25	0.88	0.5639	5.5194	2.35	0.82	2.87	1.0731	32.3860	3.606
0.30	1.05	0.6475	7.5476	2.57	0.83	2.91	1.0724	32.7074	3.604
0.35	1.23	0.7221	9.7614	2.77	0.84	2.94	1.0714	33.0126	3.602
0.40	1.40	0.7882	12.1179	2.99	0.85	2.98	1.0696	33.2940	3.598
0.45	1.58	0.8477	14.5963	3.08	0.86	3.01	1.0675	33.5629	3.593
0.50	1.75	0.9009	17.1623	3.21	0.87	3.05	1.0647	33.8030	3.587
0.55	1.93	0.9475	19.7770	3.32	0.88	3.08	1.0612	34.0182	3.579
0.60	2.10	0.9884	22.4085	3.41	0.89	3.12	1.0570	34.2083	3.570
0.61	2.14	0.9954	22.9259	3.43	0.90	3.15	1.0518	34.3608	3.560
0.62	2.17	1.0024	23.4469	3.45	0.91	3.19	1.0458	34.4872	3.540
0.63	2.21	1.0094	23.9630	3.46	0.92	3.22	1.0392	34.5830	3.530
0.64	2.24	1.0157	24.4757	3.48	0.93	3.26	1.0315	34.6399	3.510
0.65	2.28	1.0220	24.9830	3.49	0.94	3.29	1.0227	34.6533	3.490
0.66	2.31	1.0280	25.4876	3.50	0.95	3.33	1.0126	34.6149	3.470
0.67	2.35	1.0336	25.9893	3.52	0.96	3.36	1.0003	34.5122	3.440
0.68	2.38	1.0385	26.4733	3.53	0.97	3.40	0.9856	34.3235	3.410
0.69	2.42	1.0434	26.9597	3.54	0.98	3.43	0.9681	34.0479	3.370
0.70	2.45	1.0479	27.4423	3.55	0.99	3.47	0.9436	33.5684	3.310
0.71	2.49	1.0521	27.9123	3.56	1.00	3.50	0.8883	32.2943	3.180
0.72	2.52	1.0563	28.3799	3.57	(1)	=	Cap. Máx. trabajando como canal.		
0.73	2.56	1.0598	28.8325						
0.74	2.59	1.0626	29.2738						

TABLA COMPARATIVA DE CAPACIDADES Y VELOCIDADES, TUNEL REVESTIDO
 CON :

Concreto Colado.

Concreto Lanzado.

TABLA V .

$\frac{h}{H}$	Concreto Colado Manning		Concreto Lanzado Promedio	Velocidad del Agua		
	$n=0.013$	$n=0.014$	Darcy-Manning $n/f = \text{Variable}$	V_1	V_2	V_3
	Q_1 m ³ /seg	Q_2 m ³ /seg	Q_3 m ³ /seg	m/seg	m/seg	m/seg
0.10	0.94	0.87	2.59	1.31	1.22	1.69
0.20	3.71	3.22	6.37	2.08	1.93	2.04
0.30	7.55	7.01	10.35	2.57	2.39	2.21
0.40	12.12	11.25	14.40	2.94	2.73	2.31
0.50	17.16	15.94	18.48	3.21	2.98	2.37
0.60	22.41	20.81	22.47	3.41	3.17	2.42
0.70	27.44	25.48	26.57	3.55	3.30	2.44
0.80	31.70	29.44	29.76	3.61	3.35	2.44
0.90	34.36	31.91	31.10	3.56	3.31	2.36
0.95	34.61	32.14	31.47	3.47	3.22	2.31
1.00	32.29	29.99	29.74	3.18	2.95	2.14

RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE FRICCION "f" Y LOS COEFICIENTES DE MANNING "M" Y "n" PARA DIFERENTES TIRANTES h/H EN EL TUNEL REVESTIDO CON CONCRETO LANZADO.

Area = 13.88 m²

Sección Tipo Portal en Base de : f (piso) = 0.015

f (paredes y bóveda) = 0.042

TABLA VI .

$\frac{h}{H}$	f	M	n
0.10	0.0195	76.34	0.0131
0.20	0.0227	64.52	0.0155
0.30	0.0249	59.52	0.0168
0.40	0.0268	55.25	0.0181
0.50	0.0283	52.91	0.0189
0.60	0.0296	50.76	0.0197
0.70	0.0302	49.50	0.0202
0.80	0.0316	48.54	0.0206
0.90	0.0327	47.85	0.0209
0.95	0.0333	47.62	0.0210
1.00	0.0343	47.85	0.0209

TUNEL REVESTIDO CON :

Concreto Lanzado 15 cm (paredes y bóveda)

Concreto Colado 15 cm (piso)

En base a la Fórmula de Manning, con las siguientes caracterís-

ticas : s (pendiente) = 0.002

f (piso) = 0.015

f (paredes y bóveda) = 0.042

f (convertido en "n", según la ec.: $n = \frac{1}{M} = \sqrt{\frac{fRh^{1/3}}{8g}}$)

Area = 13.88 m²

Sección = Tipo Portal

$\frac{h}{H}$	Tirante m	Area m ²	H. m	Pm m	Radio m	Hidr. f	n	M	Vel. Agua m/seg	Capacidad m ³ /seg
0.10	0.39	1.56	4.78	0.326	0.0195	0.0131	76	1.62	2.52	
0.20	0.78	3.12	5.56	0.561	0.0227	0.0155	65	1.96	6.12	
0.30	1.17	4.68	6.34	0.738	0.0249	0.0168	59	2.16	10.11	
0.40	1.56	6.25	7.12	0.873	0.0268	0.0181	55	2.26	14.11	
0.50	1.95	7.79	7.94	0.981	0.0283	0.0189	53	2.36	18.20	
0.60	2.34	8.30	8.68	1.071	0.0296	0.0197	51	2.38	22.10	
0.70	2.73	10.87	9.54	1.139	0.0307	0.0202	50	2.41	26.25	
0.80	3.12	12.19	10.44	1.168	0.0316	0.0206	49	2.41	29.35	
0.90	3.51	13.16	11.54	1.140	0.0327	0.0209	48	2.34	30.73	
0.95	3.705	13.63	12.30	1.108	0.0333	0.0210	48	2.28	31.08	
1.00	3.90	13.98	14.08	0.986	0.0343	0.0209	48	2.12	29.42	

TABLA VII.

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS. REVESTIMIENTO CON :

Concreto Colado n = 0.013
n = 0.014

Concreto Lanzado f = 0.013
f = 0.015

Conservando f = 0.042 en paredes y bóveda, en base a la fórmula de Manning, f convertido en "n".

TABLA VIII.

$\frac{h}{H}$	Concreto Colado		Concreto Lanzado		Conc.C. Conc.L.			
	n= 0.013 área=10.09 m ² Q ₁	n= 0.014 Q ₂	f(piso) 0.013 Q ₃	f(piso)0.015 área=13.88 m ² Q ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
0.10	0.94	0.87	2.54	2.52	1.31	1.22	1.63	1.62
0.20	3.71	3.22	6.37	6.12	2.08	1.93	2.04	1.96
0.30	7.55	7.01	10.36	10.11	2.57	2.39	2.21	2.16
0.40	12.12	11.25	14.40	14.11	2.94	2.73	2.31	2.26
0.50	17.16	15.94	18.49	18.20	3.21	2.98	2.37	2.36
0.60	22.41	20.81	22.44	22.10	3.41	3.17	2.41	2.38
0.70	27.44	25.48	25.56	26.25	3.55	3.30	2.44	2.41
0.80	31.70	29.44	29.78	28.35	3.61	3.35	2.44	2.41
0.90	34.36	31.91	32.10	30.73	3.56	3.31	2.36	2.34
0.95	34.61	32.14	34.47	31.08	3.47	3.22	2.31	2.28
1.00	32.29	29.99	29.74	29.74	3.18	2.95	2.14	2.12
C a p a c i d a d e s					V e l o c i d a d e s			

TUNEL REVESTIDO CON CONCRETO LANZADO. $n = 0.023$ (paredes y piso)

Fórmula de Manning.

TABLA IX

$\frac{h}{H}$	Tirante m	Area Húmeda m ²	Perímetro Mojado m	Radio Hídr. m	Q m ³ /s	V m/s
0.10	0.39	1.56	4.78	0.326	1.44	0.92
0.20	0.78	3.12	5.56	0.561	4.13	1.32
0.30	1.17	4.68	6.34	0.738	7.43	1.59
0.40	1.56	6.24	7.12	0.873	11.08	1.78
0.50	1.95	7.79	7.94	0.981	14.95	1.92
0.60	2.34	9.30	8.68	1.071	18.93	2.04
0.70	2.73	10.83	9.54	1.139	23.05	2.12
0.80	3.12	12.19	10.44	1.168	26.29	2.16
0.90	3.51	13.16	11.54	1.140	27.92	2.12
0.95	2.705	13.63	12.30	1.108	28.38	2.08
1.00	3.90	13.88	14.08	0.986	26.74	1.93

COLOMBIA

Otro ejemplo de túnel en el que se encontró roca suave y -- en el que el concreto lanzado jugó un papel muy importante, es el proyecto Chingaza de Colombia. La obra consiste en la cons-- trucción de un sistema de túneles de aproximadamente 70 km, los-- cuales bajan de los 4,300 m sobre el nivel del mar a 2,500 m, y-- cuyo fin principal es satisfacer las necesidades de agua potable de Bogotá. El proyecto comprende además una presa para la genera-- ción de energía eléctrica .

La roca está compuesta de pizarras (generalmente grafiti-- cas), esquistos, arcilla, cuarcita, arenas, areniscas, limos, -- conglomerados de aluvión y aún vetas de carbón ricas en gas. Es-- interesante el hecho de que las especificaciones indicaban que -- tanto el refuerzo primario del túnel, como el final, se hicieran con concreto lanzado. El refuerzo primario consiste de concreto-- lanzado únicamente, anclado donde fuera necesario. En ocasiones-- se ha visto la necesidad de usar arcos de acero, pero debido --- principalmente a la falta de experiencia del contratista con el-- concreto lanzado. Además, es importante hacer notar que el con-- tratista original no pudo con la obra, perdiéndolo principalmen-- te debido a su falta de conocimiento en el soporte de túneles -- por medio del concreto lanzado, empleando el método del concreto lanzado húmedo. Cuando el concurso se hizo nuevamente, la compa-- ñía ganadora fué el consorcio mexicano ICA. Este contratista --- aplicó su experiencia obtenida en el sistema seco que se utilizó en el proyecto del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de - México.

PERU

Otro proyecto de características similares que se llevó a cabo en Perú (Majes). Aquí el concreto lanzado ha demostrado su flexibilidad como un sistema para el soporte de túneles, no obstante la gran variedad y mala calidad de la roca que ha sido encontrada. De particular importancia son los éxitos obtenidos en las arcillas y conglomerados debajo del desierto de Sigwas. En contraste con los otros proyectos mencionados, no existieron en éste problemas con el agua.

PANAMA

En el proyecto Los Valles-Estrella, que llevó a cabo la compañía Shanska en Panamá. Aquí también el concreto lanzado muestra su resistencia en materiales piroclásticos, tufas, milonitas brecha volcánica muy intemperizada, así como sedimentos arenosos y arcillas.

Debido a la flexibilidad del concreto lanzado se ha podido modificar la magnitud de soporte rápidamente, variando su espesor, en función de las condiciones locales de la roca.

RELACION DE OBRAS SUBTERRANEAS EN LAS QUE SE HA USADO CONCRETO LANZADO .

No.	TUNEL	GEOLOGIA	DIMENSIONES	TECHO	TIPO DE DISEÑO DE CONCRETO LANZADO Y COND. DEL TERRORENO.	REFER.
1	Adama, agua Colorado	Gneis desintegrado	10' (3m) de diam.	Hasta 4000' (1230 m)	Marcos de acero y gunita para terreno que se hincha y fluye grandes presiones.	USBR 1957
2	Austriaco-hidroeléct.	Gneiss quebrado caolinizado.	8 m2	250 m	30 cm de concreto lanzado con pernos de anclaje, presión propia de la roca.	Rabcewics 1964 - 1965
3	Kaunertal hidroeléct.	Gneis esquitoso, pizarra micácea todos los grados de alteración.	10 a 20 m2	Hasta 1100 m	Marcos completos de concreto lanzado, presiones propias de roca.	
4	Lierasen - BR Noruega	Montmorillonita, alteraciones y bandanitas en granito	60 m2 9.5x 6.5 m	50 a 200 m	Éxito limitado con 6 cm de concreto lanz. en roca que se hincha y se desintegra en láminas.	Cecil - 1967 Haland 1967
5	Massenberg carretera Austria.	Esquisto arcilloso muy blando, en parte desintegrado.	11 m de diam.	60 m	Método belga - modificado con pernos de anclaje y 20 cm de concreto lanz., presiones propias de la roca.	Rabcewics 1965-65
6	Renstrom - mina Suecia	Sedim. volc. esquistosos	25 m2	750 m	2 cm p/impedir desint. lajas.	Alberta 1965

No.	TUNEL	GEOLOGIA	DIMENSIONES	TECHO	TIPO DE DISEÑO DE CONCRETO LANZADO Y COND. TERRENO	REFER.
7	Autopista- Génova Seg tri Italia	Sedimentos Seg calizos estratificados.	----	---	Aparente terreno con tendencia a aflojarse.	Martinalli Minghetti 1965
8	Mina de Cebastos de King, Canadá	Peridolita Serpentinizada, muy alterada localmente	Galerías pequeñas.	500- 800 150- 250m	Tres capas de gunita de 1/4 pulg. cada una para impedir aflojamiento.	Foster y Harris 1957
9	La Planicia Autopista, Venezuela.	Esquisto granítico dispuesto en capas sueltas.	850 pies cuadrados.	100m	4-6 pulg. conc. lanzado y anclas, marcos de acero con cubeta de conc. para la roca más alterada, terreno que se afloja.	Kobler 1966 Rabcewics 1964-65
10	Grandes cavidades de experimentación de Nevada.	Toba estratificada masiva.	120'x120' x75'	1400 pies 430m	Gunita en convención con pernos de anclaje y malla de acero para impedir el aflojamiento	Cording 1968
11	Metro Milan Colorado.	Arena y grava desintegrado.	16'x20' 5.5x6.1 m	---	lanzado conc. sobre la frente y en el túnel, excavación con las neumáticas.	Chaso 1968
12	Moffat, RR, Colorado.	Gneis suelto desintegrado.	-----	hasta 2400' 735m	1 1/2" de gunita para terreno flojo.	Hitechcok y Tinkler 1927
13	Seikan RR Japón.	Toba, limolita tobabreccia, lava, areniscas lutita.	Túneles piloto.	80- 100m	Concreto lanzado para sustituir marcos de acero, terreno que se afloja.	Japón RR 1968

CONCLUSIONES

En resumen, es preciso enfatizar que como se ha demostrado, el concreto lanzado es un método confiable para soporte de túneles, algunas veces superior a los métodos más tradicionales, especialmente en rocas suaves y en condiciones de trabajo muy desfavorables.

Las mediciones de esfuerzos y deformaciones en el concreto lanzado como refuerzo, pueden dar buena información acerca de las condiciones del suelo ó roca que se presenten en un proyecto de túneles, pero nunca podrán reemplazar totalmente a la información continua de apoyo que proporcionan los ingenieros experimentados, especialmente en aspectos de geología.

Cabe hacer notar que, especialmente en terrenos que muestran un comportamiento visco-plástico y bajo condiciones de esfuerzos altos, puede convenir ó aún ser necesario retrasar la aplicación del concreto lanzado hasta que se haya presentado un cierto relajamiento controlado.

Más aún, la experiencia práctica ha demostrado que las fuerzas que obran en los túneles son considerablemente más bajas que las utilizadas por los diseñadores, siempre que el refuerzo del túnel se lleve a cabo correctamente. Se puede decir que, el soporte de túneles en la actualidad todavía se encuentra sobrediseñado.

Con éste sistema se puede obtener una sección más precisa al efectuar las voladuras; ya que el concreto lanzado aplicado con anterioridad confina y refuerza el macizo rocoso hasta el frente.

Cuando se utiliza el concreto lanzado como soporte definitivo, se requieren engrosamientos locales, aplicados sobre la capa preliminar y así se evitan los sistemas de transporte de concreto, andamios, etc., que pueden ser muy costosos.

Las filtraciones se pueden controlar más fácilmente cuando se utiliza concreto lanzado que, cuando el revestimiento permanente es colado en el lugar.

El concreto lanzado gracias a su ductibilidad, y a su interacción íntima con la roca, ha demostrado que puede resistir sollicitaciones sísmicas mayores que los revestimientos masivos.

Los trabajos de rellenos e inyecciones para liga que son muy tardados, no se requieren cuando se especifica al concreto lanzado como soporte definitivo.

En lo que respecta a economía; éste sistema comparado con los convencionales, puede ahorrar mucho tiempo y dinero. También se pueden ejecutar simultáneamente los trabajos de excavación y soporte. Para ganar todavía más tiempo, se puede aplicar una capa preliminar, continuar perforando y aplicar después las capas que pudieran necesitarse.

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

- 1.- Alberts, C. and Bäckström, S., Instant Shotcrete support in Rock Tunnels, Tunnels and Tunnelling, January 1971.
- 2.- Kramers, M., Erfarenhet från sprutbetongförstärkning (Experiences from shotcrete support projects).
IVA Bergmekanikkommitteen, Stockholm, March 1967.
- 3.- Kramers, M., Shotcrete Support in bad rock, (Experiences --- from Projects Abroad) Engineering Science Academy, Stockholm 1977.)
- 4.- Kramers, M., The Swedish approach to rock support, water --- power and Dam Construction, September 1978).
- 5.- Kramers, M., and Sioestroem, Shotcrete as a support system, Tunnels and Tunneling, 1978.
- 6.- Mahar, J.W., Parker, H.W., Wuellner, W.W., Shotcrete Practice in Underground Construction, Dept. of Civ. Eng., University of Illinois.
Report No. FRA-OR&D, 1975.
- 7.- Mason, B.E. and Mason, R.E., "Shotcrete Support with Special Reference to Mexico City Drainage Tunnels"
Rock Mechanics, Vol 4, 1972. pp 115-128.
- 8.- Mason, R.E., Shotcrete at Mexico City. Tunnels and Tunnelling March 1974.
- 9.- Rabcewicz, L.v., "Dimensioning of Underground Excavations",
Rock Mechanics and Engineering Geology, Vol 113-114, 1963.

- 10.- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
Concreto Lanzado. T. F. Ryan. 1976.
- 11.- Spray Concrete (Shotcrete)
Section 12 Rock Mechanics. Por E.E. Mason y R.E. Mason a publicarse por Van Nostrand, Reinhold & Company.
- 12.- Support Shotcrete in the Mexico City Drainage Tunnels, - por R.E. Mason, artículo no publicado.
- 13.- Use of Shotcrete for Underground Structural Support. Publication SP-45, ASCE, 1973.
- 14.- Capítulo 8, "Shotcrete" de la publicación "Design of Tunnel Liners and Support Systems". Final Report 1969. Clearinghouse por D.U. Deere y al.
- 15.- Shotcrete Manual. Recopilation., varias publicaciones, - hecha por A.A. Mathews.
- 16.- Especificaciones, instructivos y controles elaborados -- bajo el título de "Concreto Lanzado", Túnel, S.A. de C.V.
- 17.- Linder R "Technologie des Spritzbetons" Beton and Stahlbeton bau Heft 2 - 3 1963.
- 18.- Linder R "Spritzbeton in feshohlraum bau" Die Bautechnik Heft 10 - 11 1963.
- 19.- Rabcewicz Proly. the "New Austrian Tunneling Method" Water Bower - Now Dec 1974 January 1975.
- 20.- Kobler H, G "Dry-mix coarse aggregate shotcrete as underground support ACI Publication SP - 14 1966.
- 21.- Mason E.E. The function of shotcrete in support and lining of Vancouver R R Tunnel University of Minnesota 1969

- 22.- Cecil O S "Shotcrete support in rock tunnels in Scandinavia" ASCE Jan 1969.
- 23.- Muller L. "A New European Tunneling concept" paper present at Lorch Tunneling Conference. W. Germany April 1970
- 24.- Sallston S. "Improving initial compressive strength of shotcrete by accelerating agents". Conference on Large Permanent Under ground Openings - Oslo 1970.
- 25.- Alberts C. and Blackstrom S. "Instant Shotcrete support -- in rock Tunnels Tunnel and Tunnelling - January 1971.
- 26.- Steenson N. "High Production Shotcreting with net mix and Acceleraton" Rapid Excavation and Tunnelling.

CONFERENCIAS.

HOTEL CAMINO REAL.

Conferencia. Hormigón Proyectado y su Tecnología (Aliva - - Suiza). Representado en México por IMOCOM de México, S.A.
Dirección: Martín Mendalde No. 718. Col. del Valle.

Tels.: 536-06-65 536-92-31.