



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ACATLÁN

“PRINCIPALES APLICACIONES ESTRUCTURALES DEL CONCRETO LANZADO EN LA INGENIERÍA CIVIL”

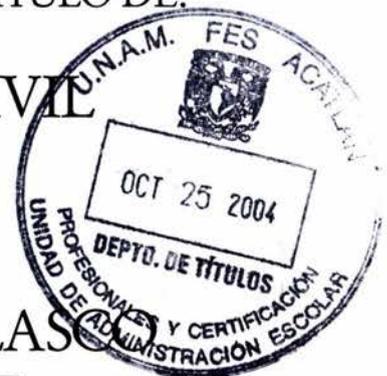
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JAVIER RUIZ VELASCO
HERNÁNDEZ.



ASESOR: ING. JUAN VÍCTOR PADILLA CORREA





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



Agradezco a mis padres por su inmenso apoyo y motivación que me brindaron durante todos mis estudios.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Javier Ruiz Velasco Hernández
FECHA: 25/10/04
FIRMA: 

Gracias a mis hermanos Ana y Héctor por su ayuda que me ofrecieron para la elaboración de la tesis.

Un agradecimiento especial al Ing. Juan Víctor Padilla Correa por su colaboración para la realización de esta tesis.

Contenido

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....	1
I.1 Concreto lanzado.....	1
I.2 Tipos de mezcla.....	3
I.3 Concreto lanzado ligero estructural.....	4
I.4 Concreto lanzado pesado.....	7
I.5 Concreto lanzado refractario.....	8
CAPÍTULO II CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA CONCRETO LANZADO.....	11
II.1 Materiales para concreto lanzado.....	11
II.1.1 Cemento.....	11
II.1.2 Agregados.....	12
II.1.3 Agua.....	16
II.1.4 Aditivos y adiciones.....	18
II.1.5 Acelerantes.....	19
II.1.6 Aceleradores libres de álcalis.....	21
II.1.7 Microsílice.....	21
II.1.8 Fibras metálicas y sintéticas.....	23
II.2 Propiedades.....	25
II.2.1 Resistencia a flexión y compresión.....	25
II.2.2 Adherencia.....	26
II.2.3 Densidad.....	26
II.2.4 Contracción por secado.....	27
II.3 Equipos.....	27
II.3.1 Equipos de doble cámara.....	27
II.3.2 Equipos de alimentación continua.....	29
II.3.3 Equipo auxiliar.....	31
II.4 Proyección por vía seca.....	34
II.5 Proyección por vía húmeda.....	36

CAPÍTULO III PROCESOS DE LANZADO Y TÉCNICAS DE COLOCACIÓN.....	38
III.1 Trabajos preliminares.....	38
III.2 Lanzado.....	40
III.3 Colocación.....	41
III.3.1 Seguridad.....	41
III.3.2 Comunicación.....	42
III.3.3 Técnicas de colocación.....	43
III.4 Rebote.....	46
III.5 Curado.....	50
III.6 Control de calidad.....	51
III.6.1 Inspección.....	51
III.6.2 Pruebas.....	52
CAPÍTULO IV DESEMPEÑO DEL CONCRETO LANZADO.....	54
IV.1 Concreto lanzado como sistema de soporte.....	54
IV.1.1 Soporte de rocas.....	54
IV.1.2 Estabilización de excavaciones.....	59
IV.1.3 Revestimiento de túneles.....	63
IV.2 Concreto lanzado como sistema de refuerzo y reparación.....	66
IV.2.1 Refuerzo en la mampostería.....	66
IV.2.2 Refuerzo de las estructuras de acero.....	68
IV.2.3 Refuerzo de estructuras de concreto reforzado.....	70
IV.2.4 Reparación del concreto dañado por el fuego.....	72
IV.3 Concreto lanzado como sistema de revestimiento.....	74
IV.3.1 Revestimiento de cables postensados.....	74
IV.3.2 Revestimiento de muros de pilotes.....	75
IV.3.3 Revestimiento de canales.....	76
IV.3.4 Recubrimiento de tanques y albercas.....	77

CAPÍTULO V VENTAJAS SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL..... 80

- V.1 Concreto lanzado con fibra..... 80
- V.2 Resistencia..... 87
 - V.2.1 Resistencia de adherencia..... 87
 - V.2.2 Resistencia al fuego..... 88
- V.3 Flexibilidad en la aplicación..... 88
- V.4 Costo- Beneficio..... 89

CONCLUSIONES..... 91

BIBLIOGRAFÍA..... 93

REFERENCIAS..... 94

INTRODUCCIÓN

En esta tesis se presenta una alternativa para la construcción, refuerzo y reparación, para los diferentes problemas que se presentan en las obras de ingeniería civil, siendo así, una forma de colocación del concreto, conocido como *concreto lanzado*.

En la actualidad este método de colocación del concreto ofrece una variedad de ventajas con respecto a otros tipos de sistemas, proporcionando una solución rápida y eficiente, y resultando en la mayoría de los casos con un costo menor, ya sea cuando el costo de la cimbra es muy alto o cuando se requieren de cimbras con formas poco prácticas.

En el primer capítulo se mencionan los diferentes tipos de concreto lanzado que se emplean en las diversas obras de ingeniería civil, así como también los dos tipos de mezclas que existen, para la colocación del concreto lanzado.

En el capítulo segundo se analizan y se describen los aspectos más importantes que se requieren para el diseño del concreto lanzado; las características generales que deben de tener los materiales para la elaboración de la mezcla, tanto para la proyección por vía seca y para la proyección por vía húmeda, presentándose así, las ventajas y desventajas que existen entre ambos procesos de proyección de mezcla.

El procedimiento de lanzado y las técnicas especiales que se requieren para la correcta colocación del concreto lanzado, se explican en el capítulo tercero.

Las diversas aplicaciones que tiene el concreto lanzado, como sistema de soporte, refuerzo, reparación y revestimiento, que se presentan en las obras civiles, se determinan en el capítulo cuarto.

Posteriormente, en el quinto capítulo se mencionan las principales ventajas que presenta el concreto lanzado con respecto al método tradicional de colocación del concreto.

Una variante en este método de colocación de concreto es el uso del concreto lanzado con fibras. Al adicionar fibras metálicas o sintéticas a la mezcla de concreto lanzado, generalmente obtenemos incremento en la ductilidad, en la capacidad de absorción de energía, en la resistencia a la flexión y al impacto.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

El concreto lanzado es simplemente otro método de colocación del concreto, el cual tiene más de 50 años de manejo comercial en países desarrollados y en nuestro país es relativamente nuevo. El concreto lanzado es clasificado en diferentes tipos de acuerdo a sus características, los cuales se tratan en el presente capítulo.

I.1 CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado puede definirse como mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie vertical, horizontal o sobrecabeza. La fuerza del chorro, produce un impacto sobre la superficie, que compacta el material. Esta superficie puede ser de concreto, piedra, terreno natural, mampostería, acero, madera, poliestireno, etc. Por lo general el concreto lanzado carece de un revenimiento y puede sostenerse por sí mismo sin problemas de escurrimiento.

El concreto lanzado es un método ideal para colocar concreto que ofrece algunas diferencias en comparación con el concreto tradicional, tales como:

- a).- Las partículas individuales de agregado cubiertas con cemento, salen de la boquilla a gran velocidad contra la superficie de aplicación, sobre la cual se adhieren y compactan al mismo tiempo por la fuerza del impacto, creando una masa sólida. Contrariamente a lo que ocurre con el concreto tradicional, que se coloca primero en obra y se compacta después, generalmente por vibración.
- b).- El tamaño máximo de agregado en la mezcla para el mortero lanzado, es de 8 mm y para el concreto lanzado puede variar desde 10mm hasta 25 mm.
- c).- Al momento de su impacto sobre la superficie de aplicación, una parte del material es rechazado, el cual recibe el nombre de “rebote”.

- d).- La distancia de lanzamiento debe ser del orden de 6 metros o en algunas ocasiones menor.
- e).- La superficie de aplicación o soporte, puede presentar cualquier forma e inclinación. El concreto lanzado tiene una mayor adherencia, si la superficie de aplicación se encuentra limpia y áspera, y es colocado en obra por capas, en espesores que pueden ser de hasta 20 cm. y en trabajos sobre cabeza es colocado en espesores de 2.5 hasta 5 cm. Debido a la fuerza del impacto, los morteros y concretos lanzados logran una adherencia óptima con el material de soporte y permiten obtener la forma de superficie deseada.
- f).- La relación agua/cemento en el concreto lanzado generalmente es más baja que la mayoría de los valores de una mezcla convencional de concreto, siendo del orden de 0.35 a 0.50 por peso y la resistencia cuando es colocado adecuadamente, es mayor que la requerida.
- g).- Se requiere una mayor cantidad de cemento en comparación con el concreto tradicional, para la elaboración de la mezcla, la cual puede ser entre 350 a 500 kg/m^3 .

Aunque las propiedades de una mezcla proyectada son parecidas a las de una mezcla tradicional, en lo que respecta a la densidad, a la resistencia a compresión, a la tracción y al cortante.

Gracias a su estructura particular, el concreto lanzado es más impermeable y más resistente a los ciclos de congelamiento y deshielo, y al fuego que un concreto tradicional de la misma composición.

Debido a su método de colocación se obtienen concretos más compactos y con mayor adherencia, permitiendo lograr elementos delgados y formas libres que difícilmente pueden construirse con técnicas convencionales. La ejecución de trabajos con concreto lanzado es un arte que requiere el conocimiento de nociones teóricas y de equipos adecuados, pero especialmente una gran experiencia práctica.

Existen dos tipos de métodos para la elaboración del concreto lanzado, los cuales son los siguientes:

- El concreto lanzado por vía seca comúnmente llamado gunito
- El concreto lanzado por vía húmeda conocido como shotcrete.

I.2 TIPOS DE MEZCLA

Para la elaboración de la mezcla del concreto lanzado, se usan dos diferentes procesos: “mezclado húmedo y mezclado seco”. Estos dos procedimientos también se distinguen, por el equipo mecánico utilizado en la aplicación.

Los concretos y morteros lanzados por vía seca presentan una gran variedad de aplicaciones y su uso está más generalizado, pero a excepción de las obras en donde los espacios son reducidos o cerrados, debido a que generan polvo, por lo que se puede dificultar la colocación del mismo.

A continuación se muestra una tabla comparativa de las características generales entre los dos tipos de proceso de mezcla.

Tabla 1.1

Factor	Mezcla seca	Mezcla húmeda
Equipo	Velocidad de proyección alta 80 - 100 m/s	Velocidad de proyección menor 60 - 70 m/s
Mezclado	En el sitio de trabajo o en una planta de mezclado. Control instantáneo sobre el agua y la consistencia de la mezcla en la boquilla la cual se ajusta para las aplicaciones de la obra.	Mezclado en una planta premezcladora. El agua de mezclado es medida con exactitud. El lanzador no puede ajustar el contenido de agua en la mezcla.
Colocación	Por lo general se colocan $5 \text{ m}^3/\text{hr}$	Mayor capacidad del orden de $10 \text{ m}^3/\text{hr}$
Rebote	Existe una pérdida de agregados, lo que dificulta el control sobre el diseño de la mezcla.	La pérdida del agregado es mínima.
Calidad	Mayor resistencia por la baja relación agua/cemento.	Mayor dificultad para obtener altas resistencias debido a la alta relación agua/cemento.
Polvo	Gran cantidad de polvo.	Reducida formación de polvo y mejor visibilidad.

Actualmente, el desarrollo de la proyección por vía húmeda, se está perfeccionando debido a la creación de nuevos aditivos y adiciones, logrando relaciones de agua/cemento mucho menores, una mayor resistencia y obteniendo concretos de una gran calidad, por lo que la colocación de morteros y concretos por vía húmeda ha adquirido cada vez más importancia en las construcciones subterráneas y en otras obras que requieran grandes volúmenes de colocación o sean sensibles a la presencia del rebote y polvo.

I.3 CONCRETO LANZADO LIGERO ESTRUCTURAL

El concreto lanzado ligero presenta un gran interés práctico para la construcción de techos o edificios completos, para aislar edificios existentes así como estructuras de acero a prueba de incendios.

Los agregados que se usan para este tipo de concreto, varían desde pizarras hasta arcillas expansivas y cenizas de combustibles, dando estas últimas excelentes resultados. Existen ciertos agregados que no pueden utilizarse debido a su extrema fragilidad, porosidad o angularidad.

Los agregados finos ligeros se emplean en proporciones de 1: 3 a 1: 4.5 (cemento: agregado) en volumen seco, obteniéndose un concreto lanzado ligero con pesos volumétricos que varían desde 2.0 t/m^3 hasta 1.5 t/m^3 y puede predecirse con seguridad que alcanza una resistencia mínima de diseño de 21 N/mm^2 a los 28 días.

En la siguiente tabla se muestra la relación de cemento- agregados ligeros para obtener una resistencia mínima de compresión.

Tabla 1.2

Mezcla por volumen (cemento-agregado)	Resistencia mínima a la compresión a los 28 días	Usos
1: 4.5	210 kg/cm^2	Recubrimientos y secciones gruesas.
1: 4	245 kg/cm^2	
1: 3	265 kg/cm^2	

Todos los agregados ligeros requieren de un manejo cuidadoso en la mezcladora y en la lanzadora, de manera que no se altere su granulometría al momento de colocar este tipo de concreto.

El concreto lanzado ligero es recomendable para usarse en techos curvos, especialmente de curvas y 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 recomienda 75 mm. como un mínimo razonable, con objeto de proporcionar suficiente recubrimiento al refuerzo.

Las máquinas para mezclas húmedas no se pueden emplear para elaborar mezclas de concreto lanzado ligero. Todos los agregados ligeros requieren de un humedecimiento previo antes de ser mezclados, el cual deberá controlarse cuidadosamente, de preferencia hacerlo inmediatamente antes de efectuar la mezcla con el cemento para impedir que el agregado absorba demasiada agua. Es necesario un cuidado extremo en la dosificación de las mezclas; ya que se debe de conocer el total de agua absorbida en una mezcla.

Dependiendo de sus características de absorción, los agregados ligeros pueden aumentar su volumen seco hasta en un 30 por ciento cuando estos se saturan. El mejor procedimiento para dosificar mezclas es hacerlo por peso, comprobadas, precisamente en la construcción con pruebas de laboratorio.

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 o se aplanan. Sin embargo, no es de esperar que se logrará un terminado de superficies perfectamente liso. La mayoría de las estructuras ligeras se enyesan o se dejan como concreto aparente.

Los concretos lanzados de vermiculita y perlita, aunque son muy ligeros, no se califican de ninguna manera como estructurales y son utilizados solamente como recubrimientos aislantes para usos refractarios.

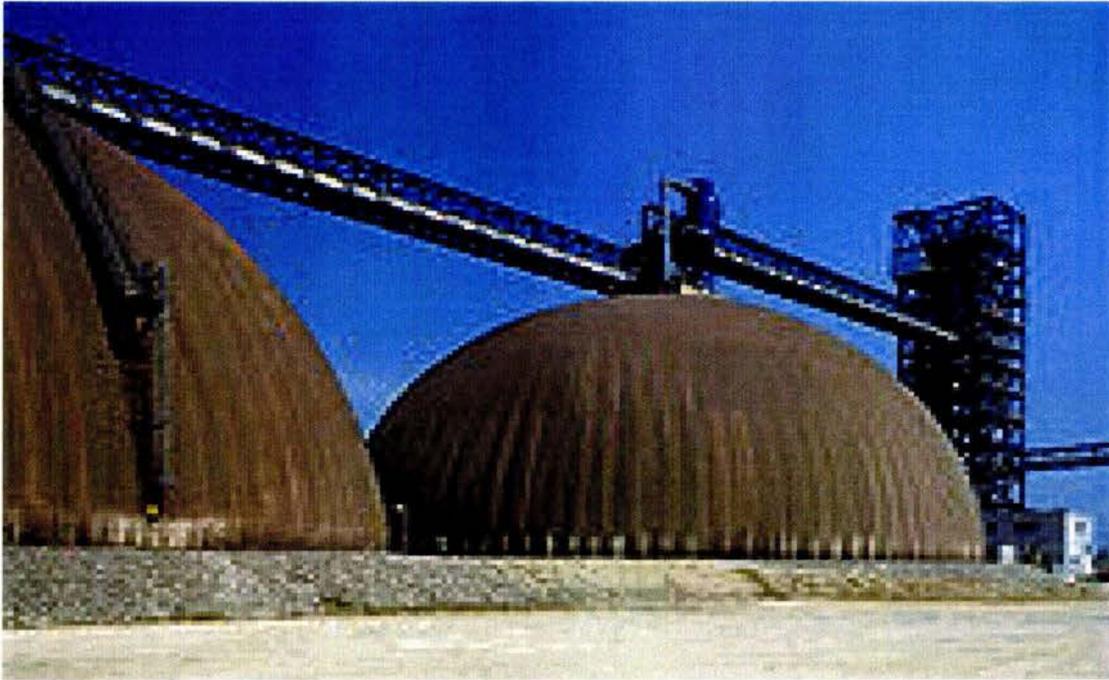


Figura I.1 Domos gigantes de concreto lanzado para el almacenamiento de semillas (Colima)

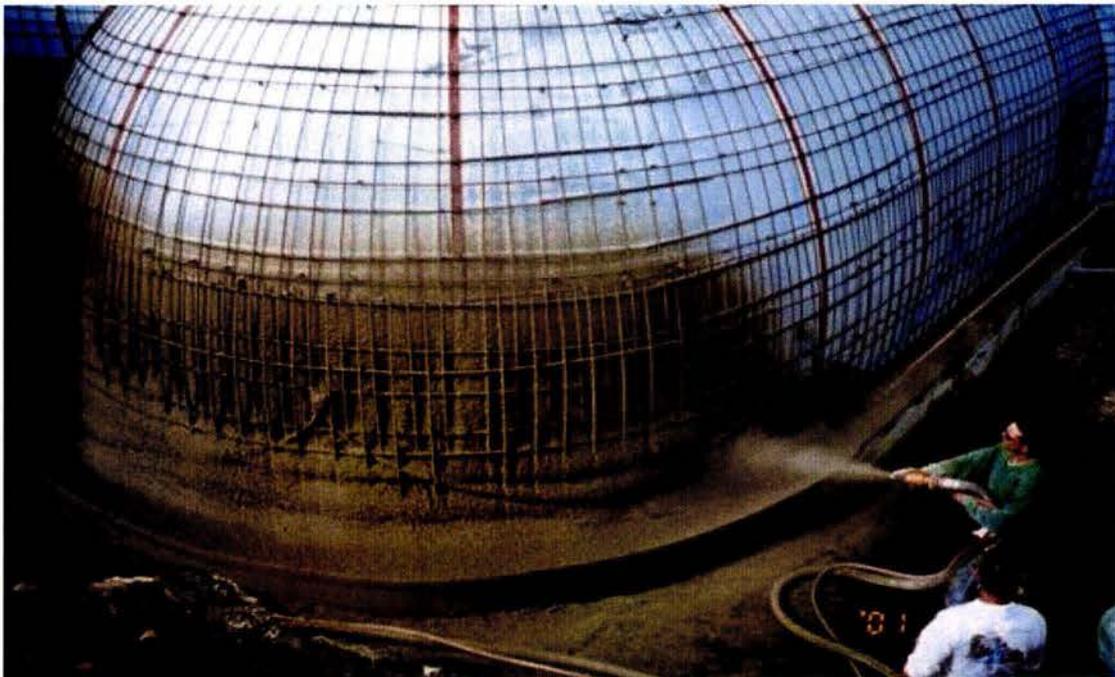


Figura I.2 Colocación de concreto lanzado para domos

I.4 CONCRETO LANZADO PESADO

El concreto lanzado pesado se produce utilizando agregados especiales que tienen una alta densidad. Este tipo de concreto lanzado puede contener cristales de sulfato de bario, el cuál es útil como material de blindaje contra radioactividad alrededor de los laboratorios de rayos-X, los cuartos de isótopos, etc., por lo que la resistencia a los agentes de intemperismo sin la protección de barita, no es muy satisfactoria.

También se utilizan municiones de acero y limadura de fierro para sustituir una parte del volumen de arena, pero sólo en áreas protegidas. Frecuentemente se usa el concreto lanzado ordinario como una capa de contrapeso para líneas de tubería sumergidas para impedir que floten.

A continuación se muestra una tabla para obtener las resistencias mínimas a compresión, para el concreto lanzado pesado.

Tabla 1.3

Mezcla por volumen (cemento- agregados)	Resistencia mínima a la compresión a los 28 días	Usos
1: 4	315 kg/cm^2	Alta resistencia
1: 3.4	425 kg/cm^2	

El concreto lanzado, siendo denso y cohesivo, es más resistente a la abrasión que el concreto normal y se puede aumentar su resistencia empleando agregados especiales, por ejemplo: los agregados finos se pueden formar de una parte de limaduras de fierro a dos partes de arena de roca triturada o de escoria de alto horno graduada, los cuales son materiales que se obtienen como subproductos del proceso de manufactura del cemento, estos proporcionan un agregado de alta resistencia a la abrasión especialmente cuando se usan con cemento aluminoso.

Los agregados pesados que se emplean con frecuencia son baritas cristalinas, teniendo una proporción de 110 a 120 kg por m^3 de concreto, siendo que algunos de los agregados pesados podrán utilizarse solamente con cemento de alúmina elevada.

I.5 CONCRETO LANZADO REFRACTARIO

El concreto lanzado mezclado con arena y cemento aluminoso (HAC) y tabique refractario triturado poseen propiedades refractarias considerables, los cuales se utilizan en hornos de todos los tipos, como por ejemplo: en la mayoría de las plantas siderúrgicas, en hornos de calcinación, etc.

Algunas empresas suministran las mezclas apropiadas, listas para ser usadas como concreto lanzado refractario, que contienen frecuentemente cemento blanco y pentaluminato tricálcico.

Una de las ventajas principales del concreto lanzado refractario es el hecho de que puede colocarse rápidamente en grandes cantidades en áreas virtualmente inaccesibles, como es el caso de las partes elevadas de las chimeneas o en los rincones de los grandes hornos.

En el concreto lanzado refractario se conservan los preceptos básicos de los sistemas de concreto lanzado: la superficie que debe recubrirse deberá humedecerse y el concreto lanzado refractario no deberá de colocarse ni demasiado seco ni demasiado húmedo.

Frecuentemente se forran los hornos completos con concreto lanzado refractario con un espesor de 150 mm o mayor. En este caso se utilizan técnicas especiales de colocación, técnicas para fijar la malla y las juntas de expansión.

Para las aplicaciones refractarias normales se puede obtener una mezcla con una relación cemento- agregados de 1: 2.2 en volumen seco con una resistencia mínima de compresión de 425 kg/cm^2 .

Las funciones de los recubrimientos refractarios son:

- a).- Impedir el sobrecalentamiento de las estructuras exteriores (acero, concreto o tabique)
- b).- Actuar como recubrimiento protector de la estructura exterior; para impedir la corrosión
- c).- Disminuir las pérdidas de calor que producen los gases de combustión

d).- Impedir que la temperatura de la superficie interior de la chimenea sea inferior a la temperatura del punto ácido de condensación de los gases de desperdicio.

A continuación se muestra una tabla en la cual se mencionan algunas de las mezclas más comunes para la elaboración del concreto lanzado refractario.

Tabla 1.4 Concreto lanzado refractario

Material Refractario	Rango de temperatura	Tipo de recubrimiento
Arena y cemento Portland ordinario.	hasta 150° C	denso
Arena y cemento aluminoso. (HAC)	hasta 300° C	denso
Tabique refractario triturado o arcilla calcinada y HAC.	hasta 1200° C	denso
Arcilla expandida (ceniza pulverizada De combustible, escoria) y HAC.	hasta 900° C	aislante
Diatomita calcinada y HAC.	hasta 900° C	aislante
Perlita y vermiculita y HAC.	hasta 900° C	aislante
Agregados refractarios de alta temperatura y HAC.	hasta 1200° C	denso

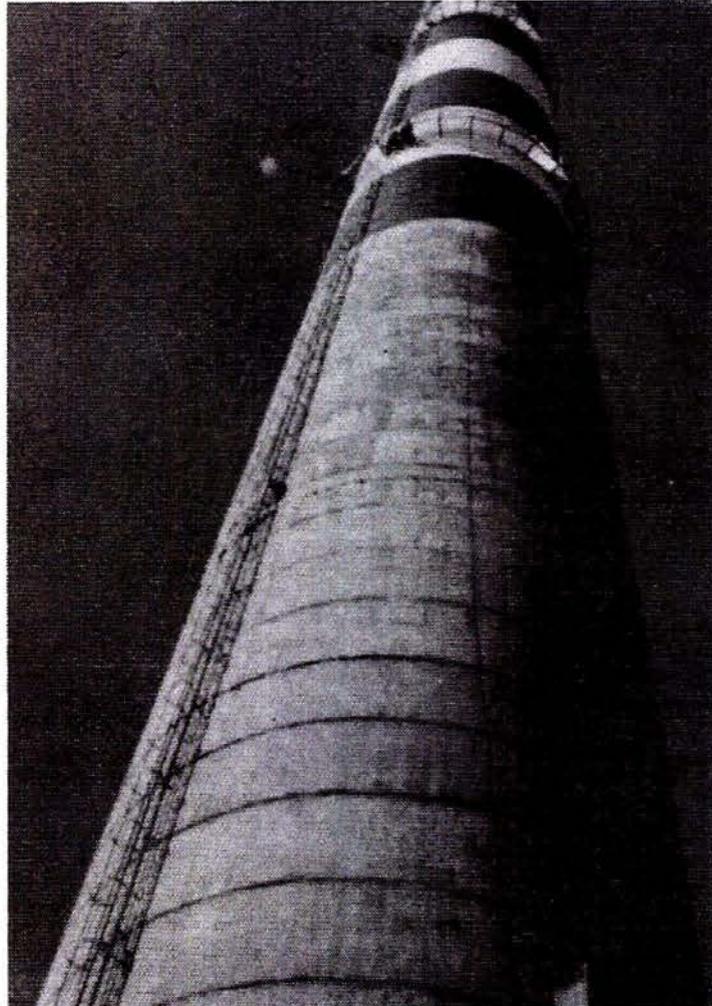


Figura I.3 Chimenea revestida con concreto lanzado refractario

CAPÍTULO II

CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA CONCRETO LANZADO

Gracias a los avances que ha tenido la tecnología de los materiales y el equipo, es posible intercambiar el proceso de lanzado seco por el proceso de lanzado húmedo en ciertas aplicaciones, aunque estos dos tipos de procesos presenten ventajas específicas. El tipo de método va a estar determinado por diversos factores, tales como: la economía, disponibilidad del material y equipo, el acceso a la obra, entre otros.

II.1 MATERIALES EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO LANZADO

Para la elaboración del concreto lanzado, deben de emplearse los mismos materiales o ingredientes que se utilizan para producir un concreto tradicional de calidad, como son: los agregados, agua, cemento, aditivos y adiciones.

II.1.1 Cemento

Para la elaboración del concreto y mortero lanzado se pueden utilizar todos los cementos Portlan que cumplan con la norma ASTM C150, así como también elegir el tipo de cemento que se requiera para las necesidades particulares de la obra.

También se recomienda emplear el cemento de un mismo tipo y de la misma marca, debido a las diferentes materias primas y procedimientos que se utilizan en su fabricación.

En los casos en que el concreto lanzado vaya a estar expuesto a la acción de suelos o agua con una alta concentración de sulfatos disueltos debe de emplearse cemento resistente a los sulfatos siendo del tipo II o tipo V.

Cuando se presenten ciertas exigencias estructurales donde se requieran de una alta resistencia rápida, se debe de emplear un cemento Portlan de endurecimiento rápido.

Para las aplicaciones refractarias es necesario utilizar un cemento aluminoso de endurecimiento rápido, que proporcione resistencia al calor y una mayor resistencia a determinados ácidos. Sin embargo, su uso requiere de ciertas precauciones, debido a su elevado calor inicial de hidratación, por lo que presenta una limitación del volumen de la carga y la limpieza frecuente del equipo y mangueras; necesitando también el empleo de una arena muy seca y un aplanado rápido.

II.1.2 Agregados

El agregado es un material de construcción unido a un cohesivo por medio de una pasta de cemento, sin que sea completamente inerte donde sus propiedades físicas, químicas y térmicas influyan en el comportamiento del concreto.

Generalmente los agregados finos y gruesos ocupan un 60% o 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), por lo que su calidad es de suma importancia e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores de 5mm. Los agregados gruesos consisten en una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y comúnmente entre 9.5 mm y 19 mm. Existen algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento. Las

partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, deberán evitarse en especial, puesto que tienen baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie del concreto.

Las pruebas o ensayos de los agregados deben de cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C 33.

Las funciones principales de los agregados son:

- a) Dar un relleno económico para el material cementante, los agregados son más baratos que el cemento.
- b) Proveer una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas aplicadas, la abrasión, el paso de humedad y la acción climática.
- c) Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento en la pasta de cemento.

Contar con una arena bien graduada es importante para tener la adecuada cantidad de finos que garantice un bajo rebote, así como también la suficiente cantidad de gruesos para obtener una buena compactación.

Se recomienda que la combinación de agregados cumpla con una de las diferentes granulometrías recomendadas por ACI 506 R-90 para la elaboración del concreto lanzado, la cual se muestra en la siguiente tabla.*

Tabla II.1

Mallas	Porcentaje en peso que pasa por malla individual		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
¾ " (19 mm)			100
½ " (12 mm)		100	80- 95
⅜ " (10 mm)	100	90- 100	70- 90
No. 4 (4.75 mm)	95- 100	70- 85	50- 70
No. 8 (2.4 mm)	80- 100	50- 70	35- 55
No. 16 (1.2 mm)	50- 85	35- 55	20- 40
No. 30 (600 μ m)	25- 60	20- 35	10- 30
No. 50 (300 μ m)	10- 30	8- 20	5- 17
No.100 (150 μ m)	2- 10	2- 10	2- 10

* Referencia 2.

La mezcla 1 es básicamente agregado fino (arena); se emplea en los siguientes casos:

- Trabajos de reparación de concreto con espesor menor de 50 mm
- Recubrimiento final sobre capas de concreto lanzado con agregado grueso (granulometría 2)
- Protección, para evitar la corrosión de las fibras metálicas en ambientes agresivos

La granulometría 1 debe usarse para concreto lanzado con agregado fino, para acabados se pueden utilizarse arenas más finas que las recomendadas en la mezcla 1, aunque se debe de considerar que el uso de agregados finos genera mayor contracción por secado, mientras que los agregados más gruesos tienden a producir una mayor cantidad de rebote.

La granulometría 2 contiene mayor cantidad de agregados gruesos presentando una relación arena/grava de 70/30, la cual es ideal para la mayoría de los trabajos de concreto lanzado y para las reparaciones con espesores que sobrepasan los 50 milímetros.

El empleo de la granulometría 3 es limitado y rara vez se usa en trabajos de reparación por el tamaño del agregado, siendo también porque su rebote es peligroso.

Al utilizar la mezcla 3 se recomienda dosificar por separado los agregados finos y gruesos para evitar la segregación. Las partículas con sobretamaño deben de eliminarse mediante cribado para evitar atascamiento en el equipo de impulsión.

Se pueden emplear agregados que no cumplan con las especificaciones siempre y cuando se hayan realizado pruebas previas que demuestren un comportamiento satisfactorio.

En la siguiente gráfica se muestran las curvas granulométricas de las arenas que deben de emplearse para la elaboración del concreto lanzado, las cuales son recomendadas por el ACI.*

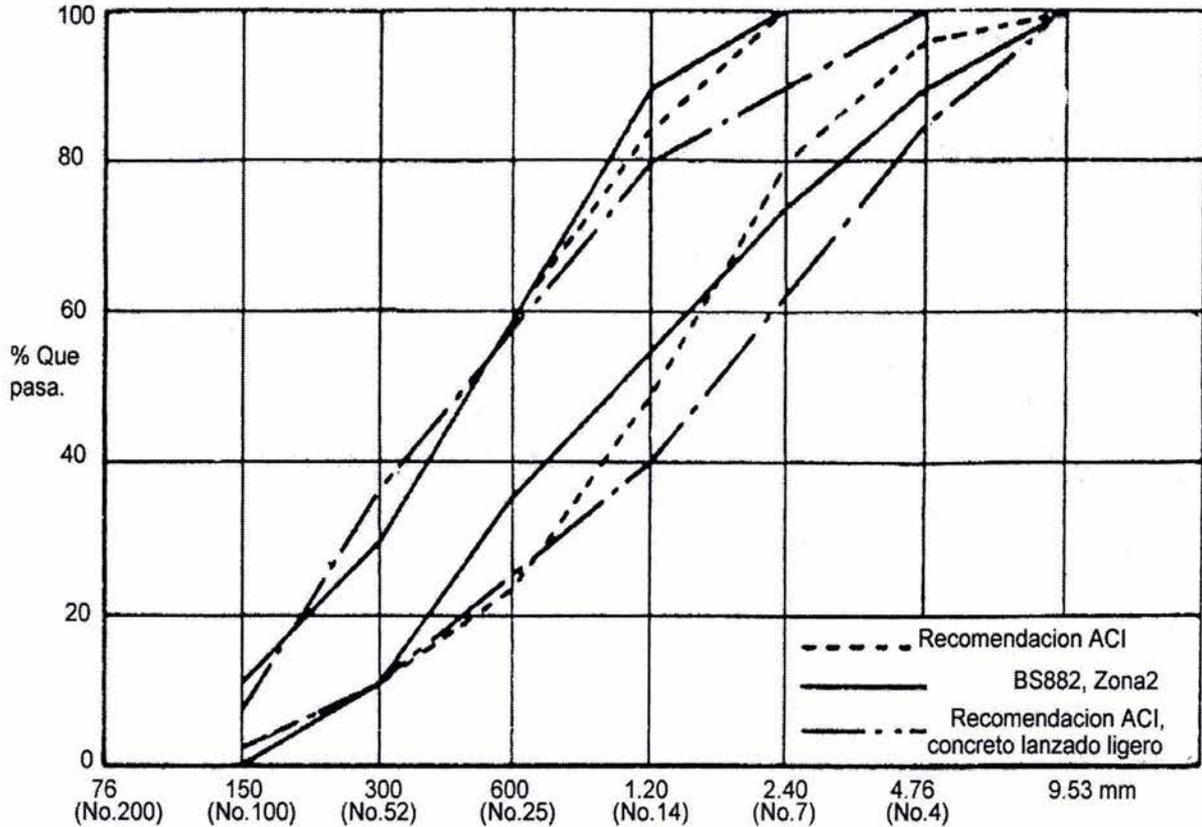


Figura II.1

Sin embargo, se recomienda que la arena debe poseer un módulo de finura del 2.8 ± 0.2 ; el 100% del material debe pasar la malla de 9.54 mm y la pérdida por lavado va a estar determinada por la norma ASTM C-117, la cual no tiene que exceder del 5%. La arena para su empleo debe tener una humedad comprendida del 4 al 8% a fin de evitar los taponamientos durante el lanzado por vía húmeda.

Por otra parte, la grava puede ser mixta (boleo y triturada) con un tamaño máximo de 19.0 mm y debe de cumplir con la norma ASTM C33; la pérdida por lavado no debe ser mayor del 1% según la norma ASTM C-117; el material triturado no debe rebasar el 18% de partículas planas alargadas.

Los agregados de forma redondeada son más apropiados que los triturados, ya que estos últimos aumentan el rebote y producen un mayor desgaste del equipo.

* Referencia 1.

Para los agregados que contengan partículas de 20mm (3/4”), se muestra a continuación las curvas granulométricas que estos deben de tener.*

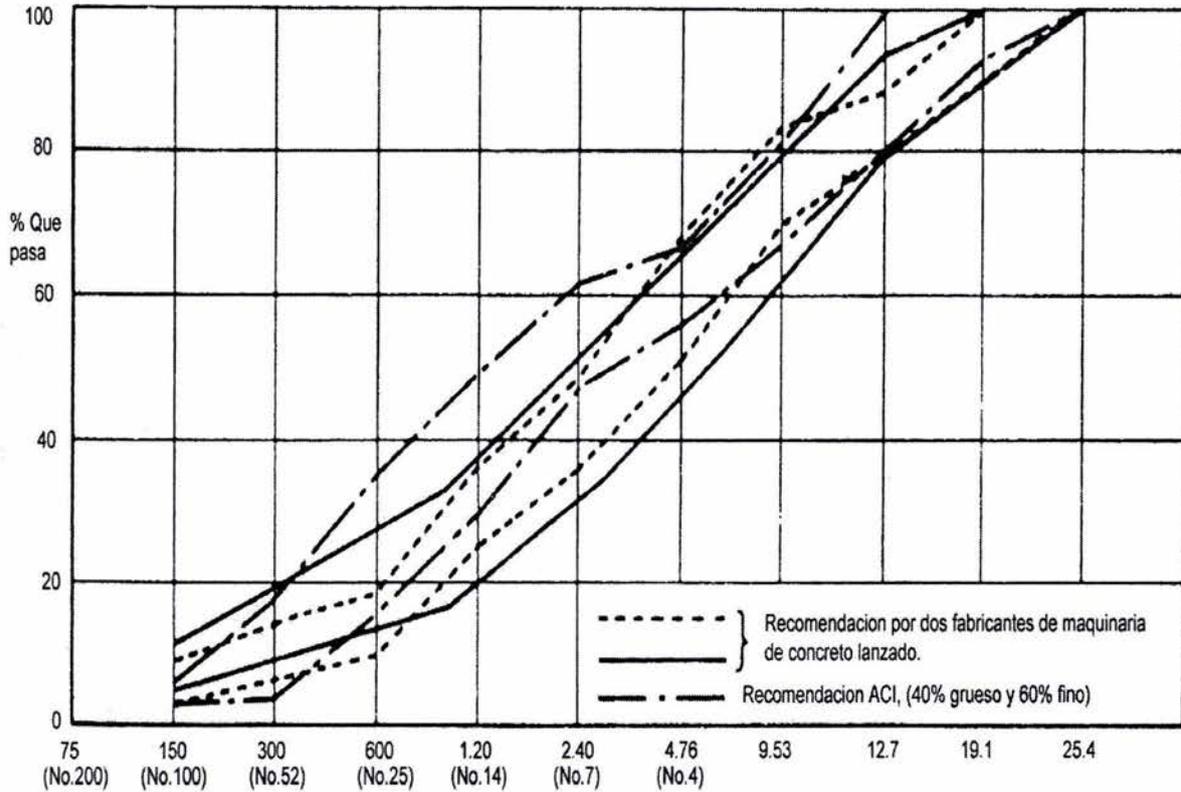


Figura II.2

En la proyección por vía seca, es importante que los agregados, sobre todo las arenas, tengan una humedad baja y uniforme, aproximadamente entre 3 y 6%. Cuando la humedad es inferior al 3% provoca una cantidad excesiva de polvo y cuando es mayor del 6%, se puede producir una adherencia de la mezcla a las paredes internas de los equipos.

II.1.3 Agua

El agua, con relación a su uso para el concreto lanzado tiene dos funciones: como ingrediente para la elaboración de las mezclas donde inicia la reacción química del cemento, produciendo el fraguado y endurecimiento del concreto, y como medio de curado del concreto cuando es utilizado este tipo de método.

* Referencia 1.

En estas aplicaciones se recomienda utilizar agua de una buena calidad, ya que el agua de mala calidad puede producir en el concreto lanzado lo siguiente:

- Disminuir la resistencia del concreto lanzado
- Retardar el fraguado o endurecimiento
- Producir una corrosión en el acero de refuerzo
- Reducir la durabilidad
- Provocar manchado o florescencias

Cuando el agua es utilizada para curar el concreto lanzado sus efectos son más bien de apariencia, ya que al contener sales se puede producir manchas sobre la superficie del concreto.

Por lo general el agua natural que sea potable y que no presente olor, sabor, y con un ph de 7, se puede emplear para producir un concreto lanzado de buena calidad. Sin embargo, el agua no potable también puede ser utilizada para elaborar concreto, siempre y cuando tenga una calidad adecuada.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto lanzado no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico, sino que básicamente se refiere a sus características físicas y químicas, y sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

La calidad dudosa del agua de mezclado puede producir en el concreto lanzado efectos indeseables a corto, mediano y largo plazo. Los efectos que se presentan a corto plazo normalmente son relacionados con las resistencias iniciales y los tiempos de fraguado, los de mediano plazo se relacionan con las resistencias obtenidas a los 28 días o posteriores y a largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, una reacción álcali en el agregado y la corrosión en el acero de refuerzo.

Sin embargo, esto se puede prevenir analizando químicamente el agua antes de emplearla, verificando que no contenga grandes cantidades principalmente de: sulfatos, cloruros y de bióxido de carbono.

Por otra parte, el agua que contiene menos de 2,000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales, generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria

para elaborar concreto; en caso de que el agua contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos, debe de ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que lo bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días.

Si el agua de mezclado contiene un elevado contenido de cloruros, puede causar principalmente corrosión en el acero de refuerzo, debido al efecto que provocan los iones de cloruro, los cuales atacan la capa de óxido protectora formada en el acero, por la acción química altamente alcalina presente en el concreto.

II.1.4 Aditivos y adiciones

Los aditivos para mortero o concreto lanzado son sustancias orgánicas y/o inorgánicas (incluyendo minerales), en estado líquido o sólido, los cuales reaccionan con la hidratación del cemento ya sea en forma química y física, estos se agregan antes, durante o después del mezclado, con el fin de modificar una o más de las propiedades del concreto en estado fresco, de fraguado o endurecido, de tal manera que se adapte mejor a las condiciones de la obra y de las necesidades del constructor.

Los aditivos no se consideran dentro del cálculo de diseño de mezclas debido a que su dosificación es en cantidades menores al 5% del peso del cemento, con excepciones cuando se dosifican en proporción del agua de mezclado.

Las adiciones y los aditivos, modifican algunas características del concreto, a diferencia de su dosificación que es mayor al 5% del peso del cemento y su volumen, las adiciones deben de tomarse en cuenta en el cálculo de diseño de mezclas.

Las adiciones no deben de tener efectos contrarios sobre el endurecimiento o durabilidad del concreto o sobre la protección anticorrosiva del acero de refuerzo.

Los materiales tales como; las cenizas volantes, escorias, puzolanas, no se consideran aditivos, son considerados como adiciones.

Para el procedimiento por vía seca, los aditivos acelerantes en polvo se adicionan en la etapa de vaciado al equipo de proyección, mientras que los aditivos líquidos, se dosifican con el agua en la boquilla de proyección. En el procedimiento por vía húmeda los aditivos en polvo, en el caso de que se requieran, se deben de mezclar con los agregados y el cemento; los aditivos líquidos, en el agua de mezclado. En el caso del acelerante líquido, por lo general se incorpora junto con el aire comprimido en la boquilla de proyección.

Para medir las cantidades en obra, se emplean habitualmente dosificadores automáticos incorporados al equipo de mezclado o al equipo de proyección.

Alternativamente se pueden emplear recipientes calibrados con la medida exacta para cada mezcla.

Al utilizar un aditivo se debe tener cuidado de:

- No usar aditivos viejos o de baja calidad
- No mezclar aditivos de diferentes marcas
- Almacenarlo adecuadamente

Hay que tener en cuenta que el uso de un aditivo no soluciona los problemas que presenta un mal diseño de mezcla, ni la utilización de materiales, el empleo de equipo y los procedimientos de colocación inadecuados.

II.1.5 Acelerantes

Los acelerantes han sido empleados por muchos años pero esto no indica que todos los concretos lanzados deban de utilizarlos, sin embargo, son esenciales para ciertos trabajos de construcción subterránea, principalmente cuando se requiere construir una sección rápidamente o se necesita un rápido desarrollo de resistencias en un corto tiempo. Los acelerantes para concreto lanzado tienen efectos diferentes dependiendo de su composición química y dosificación utilizada.

Los aditivos acelerantes acortan el tiempo de fraguado y aumentan la rapidez de endurecimiento del concreto, son productos solubles en agua, que actúan químicamente, acelerando las reacciones químicas iniciales como formación de Etingrita (sulfoaluminato tricálcico), o físicamente acelerando la hidratación por el incremento en la liberación de calor. Este tipo de aditivos, permite disminuir los tiempos de fraguado y obtener resistencias elevadas a edad temprana, aunque la resistencia final puede mantenerse o disminuir, según el tipo de acelerante y la dosis empleada.

En el concreto lanzado vía húmeda se requiere la adición de acelerantes líquidos, en la boquilla para una rápida colocación. El primer efecto de estos productos es el de reducir el revenimiento (consistencia del concreto) al momento de lanzarlo, de una consistencia fluida a una seca, mientras el concreto está en el aire, eso le permite adherirse a la superficie e incrementar el espesor de capa.

Con el uso de acelerantes se puede colocar concreto en superficies horizontales y sobrecabeza. Gracias a ello, permite la aplicación del concreto lanzado como soporte inicial en túneles y minas.

Sin embargo los acelerantes tienen un efecto secundario que es la reducción de la resistencia final (28 días). Resistencia comparada contra un concreto sin acelerante. Esta caída de resistencia puede ser mayor dependiendo la composición química del acelerante. Por lo tanto siempre se debe de mantener al mínimo su dosificación, ya que la sobre dosificación puede generar pérdidas de resistencia.

Entre los tipos de acelerante utilizados se puede mencionar:

- Silicato de sodio (Waterglass)
- Aluminatos (de sodio o potasio o mezcla de ambos)
- Libres de Álcalis

Es importante siempre hacer mezclas de pruebas para determinar el comportamiento del aditivo en el concreto, con materiales de trabajo en condiciones climáticas similares y con los procedimientos de colocación y técnicas de acabado empleados.

II.1.6 Aceleradores libres de álcalis

Hoy en día existen los aditivos libres de álcalis, que proporcionan seguridad, mejor calidad del concreto, por lo que no deben de seguirse utilizando productos agresivos como los tradicionales aluminatos o silicatos

La resistencia a tempranas edades en el concreto lanzado como soporte de roca es crucial (resistencia del concreto antes de 24 horas después de su aplicación). Seguridad, capacidad y economía han sido palabras clave en relación del desarrollo de altas resistencias a tempranas edades. Tradicionalmente los aceleradores disponibles eran aluminatos o silicatos. Dosificaciones muy altas de cualquiera de los dos han resuelto gran número de situaciones difíciles en soporte de roca, pero con un efecto negativo en una substancial pérdida de resistencia final, además de crear un ambiente de trabajo insalubre y dañino. Principalmente los aluminatos que son muy agresivos para el personal. Con los aditivos acelerantes libres de álcalis disponibles hoy en día se puede obtener la resistencia requerida.

Con algunos aditivos libres de álcalis se puede obtener una ganancia de 1Mpa (10 kg/cm^2) por hora, como es el caso que ofrece la marca reconocida MEYCO, con una resistencia final muy superior (hasta 50% mayor) y un mejor ambiente de trabajo que con los acelerantes tradicionales

La química de los aditivos libres de álcalis es mucho más compleja, por lo tanto son más caros que los acelerantes tradicionales, aunque el precio del acelerante afecta muy poco el precio total del concreto lanzado colocado en el muro, ya que intervienen otros factores como rebote, capacidad de colocación, avance de obra, espesor de capa, etc...

II.1.7 Microsílice

La aplicación de microsíllice en los morteros y concretos, se inició en Noruega en 1950, pero su difusión en Europa y E.U.A. se produjo alrededor de los 80's.

El humo de sílice es un subproducto industrial que proviene de la reducción de cuarzo por carbón en hornos de arco eléctrico, en la producción del silicio o ferrosilicio; el cual es recuperado de los gases del horno.

La adición de microsílíce al concreto o mortero en estado fresco genera una fuerte cohesión, un color más oscuro, menor segregación y una reducida exudación. Tiene una mayor trabajabilidad combinado con aditivos y en reposo presenta un menor revenimiento, sin embargo ante la acción vibratoria tiene una mayor fluidez.

En la siguiente tabla se muestran las propiedades del concreto lanzado en estado plástico para mezcla húmeda y mezcla seca.

Tabla II.2

Propiedades	Descripción de la mezcla			
	Mezcla húmeda		Mezcla seca	
	solo	Con humo de sílice	solo	Con humo de sílice
Revenimiento (cm.)	4 a 8	4 a 8		
Contenido de aire (%)				
Antes de colocar	8.5	6.4		
Colocado	4.8	3.9		
Espesor de capa (mm)				
Sobrecabeza	80	130	65	380
Vertical	300	330	200	460
Rebote (%)				
Sobrecabeza	15	13	46	20
Vertical	4	3	42	20

Por otra parte, con la adición de microsílíce al concreto o mortero en estado endurecido, se reduce la porosidad de la pasta, se obtienen altas resistencias mecánicas, una menor permeabilidad, mayor durabilidad, mayor resistencia a la corrosión y al ataque químico.

Su desempeño en el concreto es muy superior a otras puzolanas, y se dosifica entre el 5 al 15 % del peso del cemento.

A continuación se muestran las propiedades del concreto lanzado en estado endurecido para la mezcla húmeda y mezcla seca.

Tabla II.3

Propiedades	Método de ensaye ASTM	Mezcla húmeda		Mezcla seca	
		solo	Con humo de sílice	solo	Con humo de sílice
Resistencia a la compresión (MPA) 24 hrs. 7 días 28 días	C39	15 28 44	22 45 63	30 44 54	34 49 60
Resistencia a la flexión (MPA) 7 días 28 días	C78	3.8 5.3	4.9 6.7	7.4	8.4
Absorción % a 28 días	C642	6.6	5.9	4.9	2.7
Volumen de huecos % permeables a 28 días	C642	14.3	12.9	11.2	6.3
Contenido de aire %	C457	5	3.3	4.3	3.9
Cambio de longitud por secado % a 64 días	C341	0.105	0.088	0.072	0.061

II.1.8 Fibras metálicas y sintéticas

El concreto lanzado colocado en minas y túneles se encuentra sometido a grandes deformaciones, y con la pobre ductilidad que tiene este material, en este tipo de aplicaciones puede presentar agrietamientos permanentes, filtraciones, menor durabilidad y una pérdida en la capacidad de carga. La inadecuada resistencia al impacto del concreto lanzado puede ocasionar daños severos.

El empleo de fibras dentro del concreto lanzado, es un concreto conteniendo fibras discontinuas que ayudan a mejorar la resistencia al agrietamiento, la ductilidad, la absorción de energía y resistencia al impacto.

Existen varios tipos de fibras: metálicas y sintéticas

El primer tipo de fibras se fabrican de diversas maneras por lo que hay una gran variedad de formas y diámetros, longitudes y aleaciones. La ASTM A 820 clasifica a las fibras metálicas y según su origen en:

- Alambre cortado en frío
- Lamina cortada
- Extracción a partir de una masa fundida
- Otros

Las fibras metálicas se utilizan en el concreto para incrementar su ductilidad, resistencia al impacto y la reducción en la propagación de grietas.

Los parámetros que describen la calidad de la fibra son:

- 1.- Relación longitud / diámetro (aspect ratio)
- 2.- Resistencia a la tensión de la fibra
- 3.- Forma geométrica

Las fibras sintéticas se fabrican con fibras de diversos materiales tales como:

- Polipropileno
- Nylon
- Polietileno
- Acrílicas
- Carbono

La cantidad de fibras es sumamente importante y las ventajas que presenta el refuerzo con fibra son las siguientes:

Bajos volúmenes de fibra sintética fibriladas o monofilamentos (0.1 a 0.3 % en volumen, 1 a 3 kg/m^3) se usan para obtener:

- Reducción del agrietamiento por contracción plástica
- Reducción del agrietamiento por asentamiento plástico
- Disminuyen la migración de agua
- Un pequeño aumento en la resistencia al impacto

Altos volúmenes de fibras sintéticas monofilamentos (0.9 a 1.3%, de 7 a $12\text{ kg}/\text{m}^3$) o altos volúmenes de fibras de acero (0.45 a .75%, volumen 35 a 60 kg) se utilizan para obtener:

- Reemplazo de la malla de refuerzo
- Incremento en la resistencia al impacto
- Poder soportar carga después del agrietamiento del concreto
- Disminuir el agrietamiento por la contracción del concreto

II.2 PROPIEDADES

Las propiedades de un concreto o mortero lanzado, generalmente son superiores o similares a las mezclas convencionales, que tengan la misma composición y con un diseño de mezclas adecuado y aplicado correctamente, es por lo general un material sólido, durable y con excelentes propiedades de adherencia a diversos materiales como concreto, mampostería, roca, acero, entre otros. Tiene alta resistencia a la compresión, a los cambios climáticos y a diversos ataques de sustancias químicas, así como una baja absorción y buena resistencia a la abrasión y al fuego.

II.2.1 Resistencia a flexión y compresión

Una de las propiedades del concreto lanzado, específicamente es su resistencia a la compresión y que se verifica utilizando muestras de núcleos de corazones, los que se obtienen del concreto lanzado endurecido, mediante una extractora de corazones. Los valores de resistencia a flexión y compresión que presenta el concreto lanzado son muy similares al concreto convencional.

Los valores que se obtienen de resistencia a compresión del concreto lanzado, están entre los 200 y $480\text{ kg}/\text{cm}^2$ (20 y 48 MPa), sin embargo, para ciertas aplicaciones especiales, se han desarrollado resistencias mayores de $700\text{ kg}/\text{cm}^2$ (70 MPa).

La tabla que sigue muestra la relación de cemento -agregados con una resistencia mínima a la compresión.*

Tabla II.4

Mezcla por volumen	Mezcla por peso	Resistencia mínima a la compresión a los 28 días (kg/cm^2)	Usos
1: 6.5	1: 6	210	Recubrimientos y secciones gruesas
1: 5.5	1: 5	245	
1: 5	1: 4.5	260	
1:4.5	1:4	280	Universal
1:4	1:3.5	315	Alta resistencia
1:3.4	1:3	425	
1:2.2	1:2	425	Usos refractarios

Nota: Estos valores están como guía general y se encuentran del lado pesimista.

II.2.2 Adherencia

La propiedad más destacada de morteros y concretos lanzados, es su adherencia a la superficie de soporte, siempre y cuando ésta sea sólida, esté limpia y saturada con una superficie seca y rugosa.

El módulo de elasticidad que tienen las mezclas proyectadas, se encuentran normalmente entre los 17×10^3 a 41×10^3 MPa.

La adherencia no es mas que un fenómeno mecánico, en el que durante las primeras fracciones de segundo del impacto del chorro sobre la superficie de aplicación, se forma una delgada capa de mortero, compuesta de los elementos más finos de la mezcla, la cual penetra por la fuerza del impacto, en las menores irregularidades, en los poros y las fisuras de la superficie de aplicación, por lo que se logra una excelente adherencia entre el concreto lanzado y su soporte después del fraguado del cemento.

II.2.3 Densidad

La densidad que presentan los morteros lanzados, varía entre 2100 y $2200 kg/m^3$ y la de concretos lanzados, entre 2200 y $2400 kg/m^3$. La cual es muy similar a la del concreto convencional.

* Referencia 1 y 2.

II.2.4 Contracción por secado

Debido a la mayor cantidad de cemento en el concreto lanzado existen mayores posibilidades de sufrir agrietamientos de contracción por secado, por lo que se requiere de un mayor control en la colocación de juntas o de incrementar el uso de refuerzo en fibras o acero.

La contracción por secado del concreto lanzado, depende de las proporciones de mezcla empleadas, pero se encuentra dentro del rango de 0.06 % hasta 0.1 %, por lo que es un poco superior a un concreto tradicional de revenimiento bajo.

II.3 EQUIPOS

La elección del equipo es de gran importancia para una eficiente, económica y exitosa aplicación del concreto lanzado.

Es importante colocar el equipo lo más cercano al lugar de colocación para minimizar los tramos de manguera que se utilicen, si es un área grande que se va recubrir con concreto se recomienda colocar el equipo al centro para evitar los posibles movimientos del mismo para terminar el trabajo. Es necesario colocar el equipo de tal forma que facilite la alimentación del mismo para evitar el sobre manejo de los agregados.

II.3.1 Equipos de doble cámara

Este fue el primer equipo inventado por Carl E. Akeley en 1907, conocido como Cement- Gun, el cual funcionaba según el principio de las dos cámaras.

Este sistema de equipo consiste en introducir la mezcla seca en la tubería de impulsión a través de dos cámaras presurizadas alternativamente, que permitan proyectar un mortero de cemento y de agregados finos adicionándole el agua en la boquilla a través de un anillo distribuidor de agua para humedecer la mezcla antes de que fuera consolidada neumáticamente sobre la superficie, todavía hay algunos equipos funcionando, pero muy rara vez se emplean en trabajos de construcción subterránea y además se requiere gran habilidad para operar este tipo de equipos.

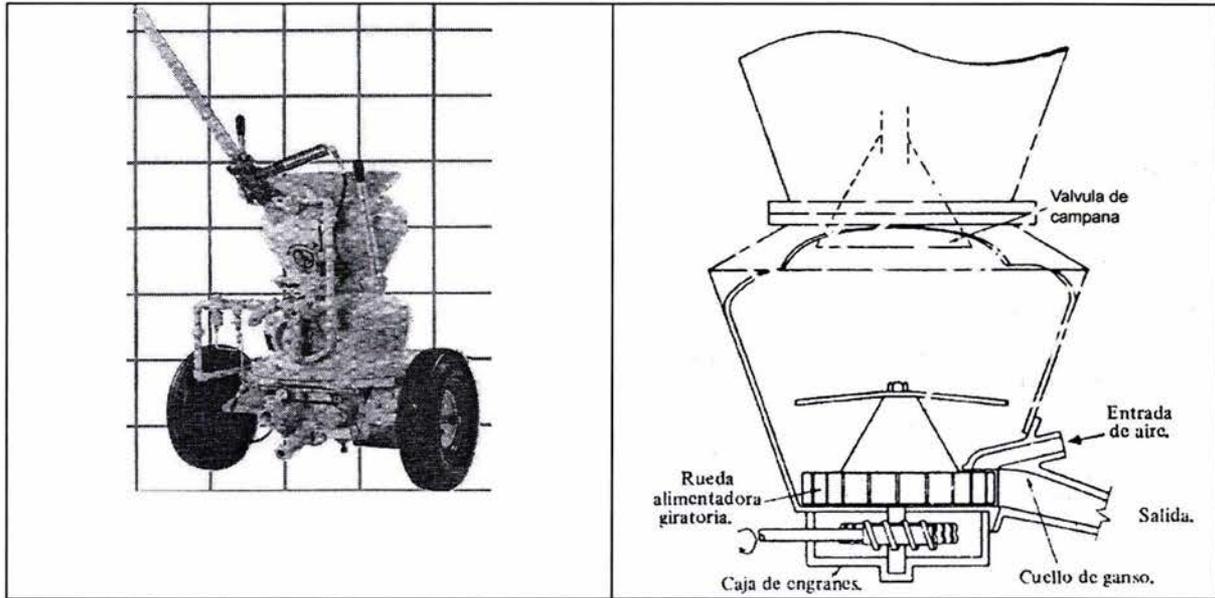


Figura II.3 Lanzadora de doble cámara

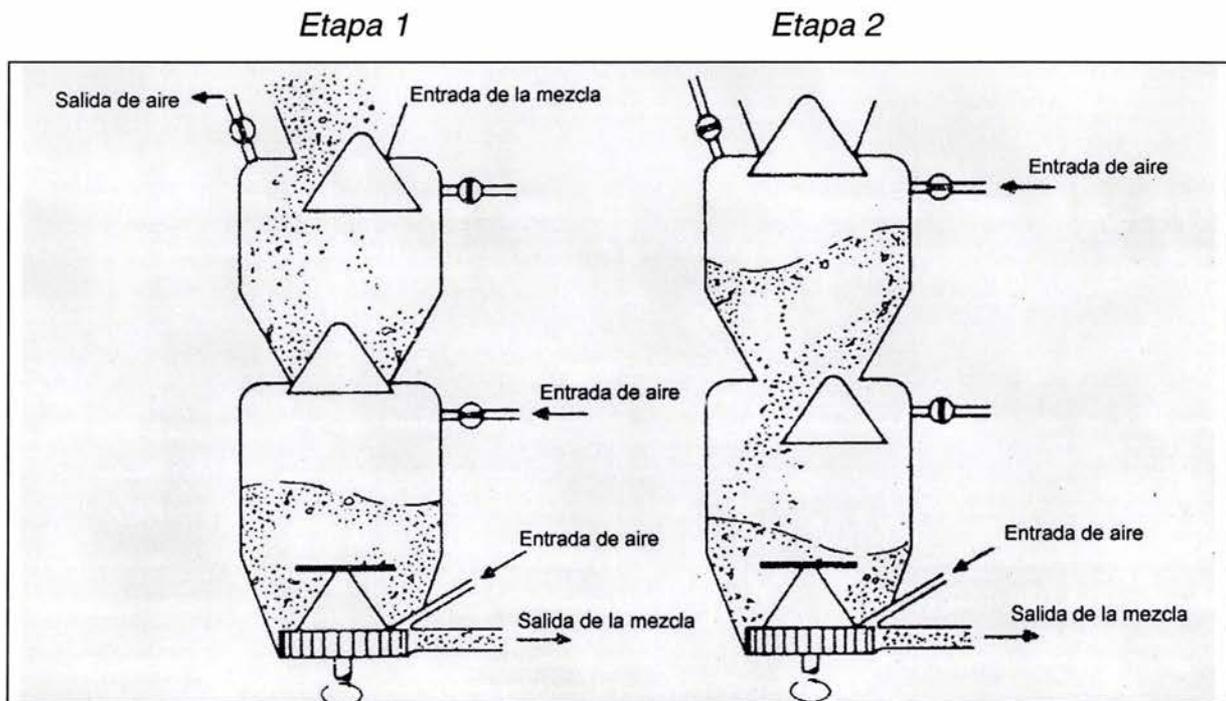


Figura II.4 Secuencia básica de operación en una máquina sobre ruedas de doble cámara

II.3.2 Equipos de alimentación continua

Este tipo de equipos fue introducido en los 60's, actualmente existen dos variantes el tipo tazón y el de tipo rotor.

El tipo tazón se alimenta por la tolva, el material es desplazado por un agitador hacia el depósito que alimentará al tazón. Mientras el tazón gira se introduce el material por gravedad. La almohadilla sella el aire comprimido y lo dirige hacia un área específica del tazón. La presión empuja al material hacia abajo y a través de la salida del equipo al cual se conecta la manguera que llevará el material hasta la boquilla.

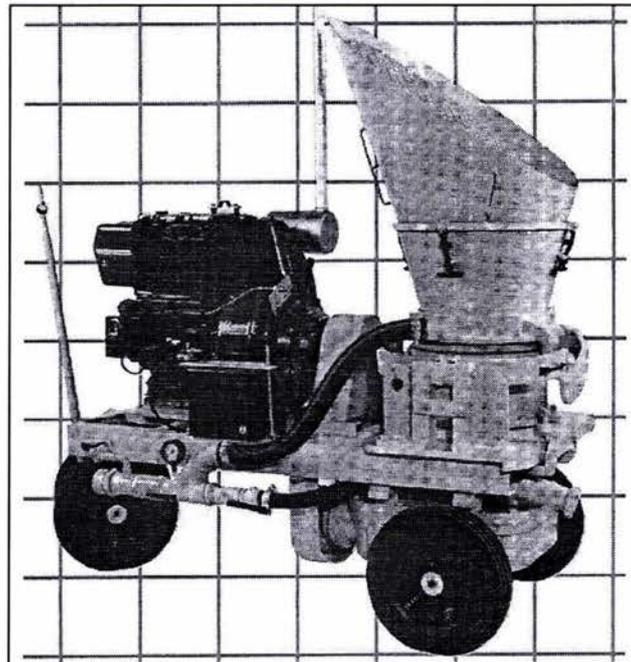


Figura II.5 Máquina de tambor rotatorio

El tipo rotor, a diferencia del equipo anterior, se alimenta de material por la tolva, con ayuda del agitador introduce por gravedad el material a un cilindro del rotor, el cual está girando y se sella con la almohadilla, la cual lo pasa bajo el flujo de aire a presión el cual descarga el material directamente a la manguera.

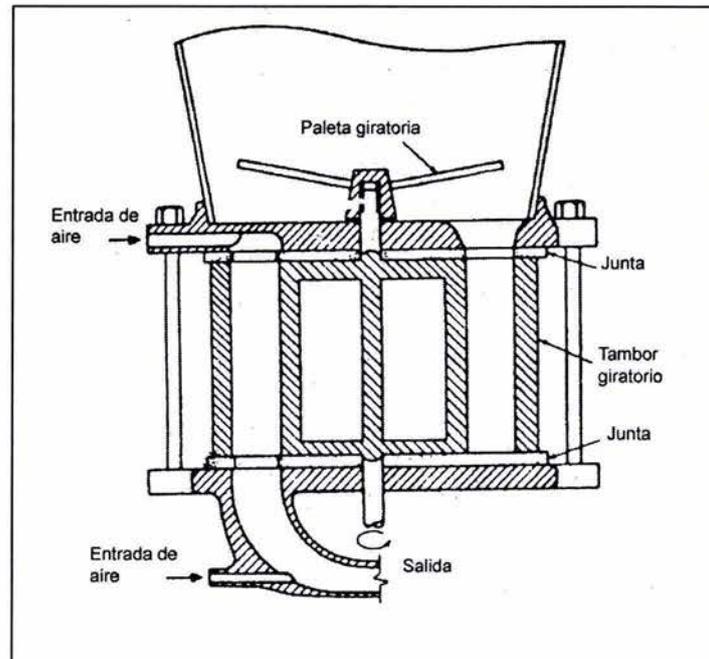


Figura II.6 Detalle del tambor rotatorio

La diferencia entre los dos equipos es el sistema de sellado de la cámara. El equipo de tazón es un poco más sensible al contenido de humedad en la mezcla y tiende a crear una costra de concreto en los tazones ya que el material es empujado hacia abajo y hacia fuera. Referente a la descarga de material el equipo tipo tazón es más productivo, mientras que el de tipo rotor puede manejar una mayor variedad de mezclas.

Actualmente se utiliza una enorme lanzadora para colocar concreto llamada Blastmixer, la cual su funcionamiento es por medio de paletas, que utiliza tubos de 150 mm de diámetro y aire a baja presión en grandes volúmenes para transportar la mezcla seca hasta la boquilla que contiene el dispositivo de la distribución de agua.

El Blastmixer es capaz de colocar 50 toneladas de concreto lanzado por hora hasta una distancia horizontal de 300 m y una distancia vertical de 100 m.



Figura II.7 Blastmixer

II.3.3 Equipo auxiliar

En la mayoría de las aplicaciones del concreto lanzado vía húmeda, se utilizan camiones premezcladores que entregan el concreto directamente a la tolva del equipo. En los trabajos donde el concreto lanzado es mezclado en sitio, se usan mezcladores portátiles que puedan operar ya sea por bacheadas o de tipo continuo. Los primeros son generalmente tambores rotatorios con aspas, que se alimentan los ingredientes y se mezcla hasta que se obtenga una mezcla homogénea, se descarga y se reinicia el proceso de carga de materiales. Los de tipo continuo, cuentan con depósitos para cada ingrediente, los cuales son dosificados a través de Bandas continuas o por tornillos sin fin, que según su velocidad o tamaño gradúan los materiales los cuales se mezclan por un tornillo sin fin descargando a un depósito o directamente al equipo según se requiera.

La boquilla para vía húmeda es colocada al final de la manguera y está constituida por una punta de plástico, un anillo de distribución de aire, una válvula de control para el flujo de aire y otra para el flujo de aditivo acelerante, y el cuerpo de la boquilla. El concreto llega al cuerpo de la boquilla a una velocidad de 1 m/s .

Conforme el concreto avanza por la boquilla se encuentra con una corriente de aire comprimido, la cual descompacta al concreto y le proporciona una velocidad de lanzado. Conforme el concreto es cortado por el flujo del aire, es mezclado con el aditivo acelerante.

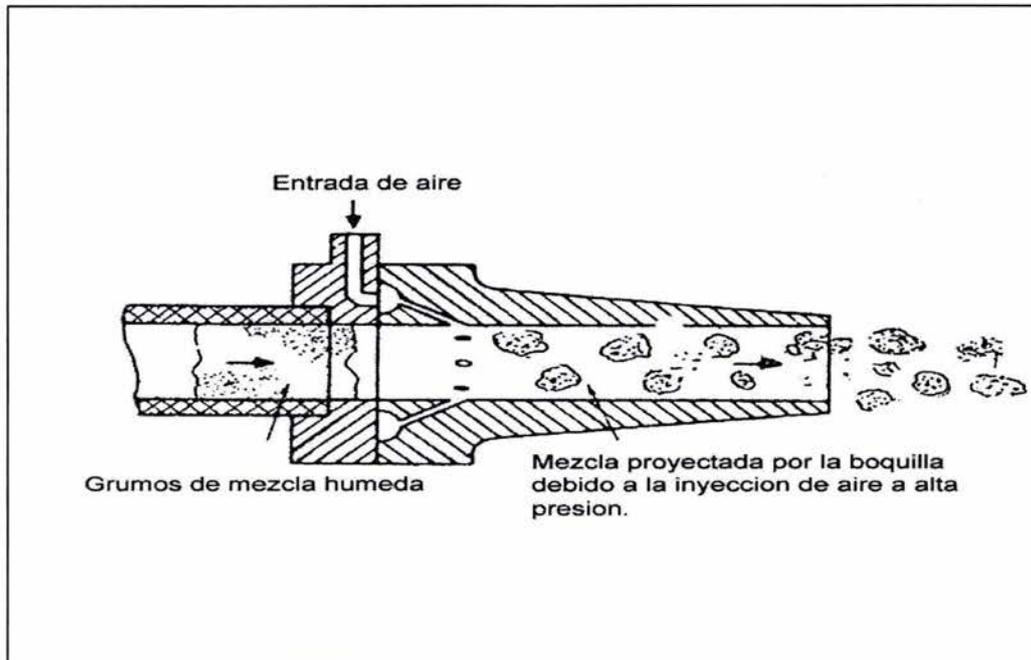


Figura II.8 Boquilla para mezcla húmeda

Existen diferentes formas y tamaños de las boquillas para la colocación del concreto lanzado por vía húmeda, por lo que, la elección del tipo de boquilla esta en función del patrón de aplicación deseado.

Las boquillas para vía seca funcionan con el mismo principio que las anteriores, presentando solamente un cambio, un anillo de distribución de agua. La función del anillo de distribución, el cual se localiza dentro del cuerpo, es la crear una red, por la cual debe de pasar el material, impulsado por el aire comprimido. La eficiencia depende de la presión del agua la cual debe ser por lo menos de 15 lb/in^2 mayor que la presión del aire, así como la habilidad del lanzador a la hora de ajustar el flujo de agua.

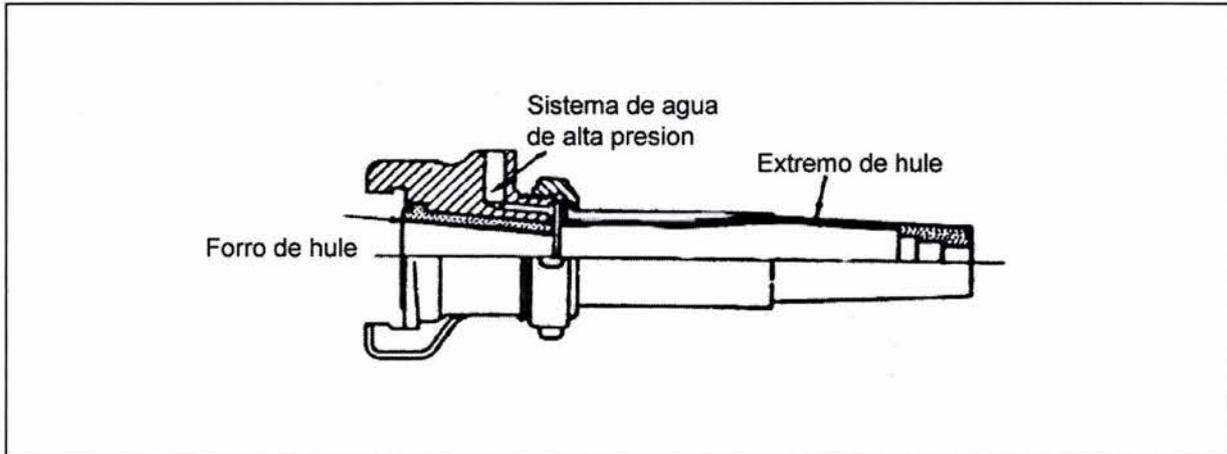


Figura 11.9 Boquilla típica para mezclado seco

Los aditivos acelerantes deben de dosificarse a la hora del mezclado o en la boquilla, dependiendo de sus propiedades y el método de concreto lanzado (vía húmeda o vía seca).

En la vía seca, los acelerantes en polvo se añaden durante el mezclado y los aditivos acelerantes líquidos se añaden en la boquilla junto con el agua de mezclado o pueden ser premezclados con el agua y bombeados a la boquilla.

En la vía húmeda sólo se utilizan aditivos acelerantes líquidos junto con el aire en la boquilla, los cuales se dosifican de acuerdo con el flujo de concreto que llega a la boquilla.

Los dosificadores de aditivos deben de ser capaces de medir la cantidad de acelerante que se está añadiendo así como de permitir ajustar la dosificación en caso de que sea necesario.

El empleo de un compresor de aire de amplia capacidad es necesario para una operación satisfactoria de concreto lanzado. El compresor debe de tener la capacidad de mantener un flujo de aire continuo, libre de aceite y agua para proporcionar una velocidad adecuada del concreto en la boquilla, aun cuando se operen simultáneamente equipos con motores de aire. Los requerimientos de aire varían de acuerdo con el tipo de equipo, su condición y modo de operación.

Los equipos de vía seca generalmente requieren más aire que los equipos de vía húmeda.

Los propulsores de agua deben de ser capaces de suministrar por lo menos 10 gal/min a 60 psi en la boquilla, para boquillas estándares, el agua debe de ser constante y de 15 a 30 psi mayor que la presión del aire.

II.4 PROYECCIÓN POR VÍA SECA

La proyección por vía seca es la más antigua y está más difundida que el otro método, la cual se deriva del método de proyección inventado por Carl E. Akeley y que ha dado lugar, hasta el presente, al desarrollo del sistema de la máquina de rotor, con la cual el concreto lanzado ha permanecido en el mundo durante los últimos veinte años.

El procedimiento de la proyección por vía seca consiste en lo siguiente:

- 1)- Se prepara una mezcla de cemento, agregados secos o que tengan la humedad natural del 3 al 6% y en su caso aditivos en polvo, mezclados hasta conseguir una excelente homogeneidad.
- 2)- La mezcla se carga en la máquina lanzadora y en ese momento se pueden colocar los aditivos acelerantes en polvo, para obtener las resistencias iniciales altas y disminuir el rebote.
- 3)- Con el equipo se introduce el material hacia la manguera de transporte de mezcla.
- 4)- El material es transportado por medio del aire comprimido hasta la boquilla.
- 5)- En la boquilla se introduce el agua a presión junto con el aditivo líquido, si se usa, mediante un anillo perforado, mezclándose con los demás materiales.
- 6)- Finalmente la mezcla ya húmeda es lanzada a gran velocidad desde la boquilla hacia la superficie, compactándose con la colocación.

La aplicación por vía seca presenta varias ventajas las cuales se mencionan a continuación:

- El agua de mezclado y la consistencia de la mezcla se controlan directamente en la boquilla.
- La mezcla en seco se puede transportar a mayores distancias.
- El mantenimiento de los equipos mecánicos es más económico.
- Se requieren bajas relaciones de agua/cemento.
- Permite obtener una mayor energía de compactación.



Figura II.10 Lanzadora para mezcla seca

Pero por otra parte, el proceso de vía seca tiende a generar polvo y una mayor cantidad de rebote, también presenta variaciones en la dosificación del agua y en la homogeneidad de la mezcla, por lo que estos inconvenientes se pueden reducir notablemente con el uso de un aditivo reductor de polvo y con boquillas especiales que permiten obtener mezclas semihúmedas.

II.5 PROYECCIÓN POR VÍA HÚMEDA

La proyección por vía húmeda, bajo su forma actual, ha sido desarrollada después de la segunda guerra mundial como resultado del éxito de la proyección por vía seca; pero ésta presentaba un gran inconveniente, la formación de polvo y la dosificación del agua excesivamente variable, todo esto se trató de eliminar con la ayuda de la proyección por vía húmeda.

El proceso de la proyección por vía húmeda consiste en lo siguiente:

- 1)- Se mezclan el cemento, los agregados, el agua y los aditivos, exceptuando el acelerante hasta conseguir una mezcla homogénea y con un revenimiento mínimo entre 4 cm y 8 cm que pueda ser bombeado. Un exceso en el revenimiento resulta un concreto débil y se desprende al aplicarse en las superficies verticales o sobrecabeza.
- 2)- La mezcla se carga en la tolva de la máquina lanzadora.
- 3)- La mezcla es introducida en la manguera de transporte.
- 4)- El material es transportado por el desplazamiento mecánico (flujo denso) o mediante aire comprimido (flujo diluido) hacia la boquilla. En la boquilla se inyecta el aire adicional a presión para incrementar la velocidad, y es donde generalmente los aditivos aceleradores se adicionan.
- 5)- El mortero o concreto es lanzado a gran velocidad contra la superficie y es compactado junto con la colocación.

Las ventajas que se presentan en este método son las siguientes:

- El agua de mezclado es controlada, dosificándose con mayor precisión y se puede reducir la cantidad de agua mediante el empleo de aditivos plastificantes y superfluidificantes.
- Se obtienen mezclas más homogéneas.
- Disminuyen las pérdidas de cemento y la generación de polvo.
- Se produce un menor rebote.
- Se logran mayores volúmenes de producción.



Figura II.11 Lanzadora para mezcla húmeda

Con respecto a las mezclas húmedas, la adición de aceleradores de fraguado presentan ciertas dificultades y la velocidad de impacto del material contra el soporte, es por lo general inferior a la alcanzada con la proyección por vía seca.

Durante la proyección de sobrecabeza, el grado de compactación del concreto lanzado vía húmeda no alcanza los resultados obtenidos que por vía seca.

Ambos sistemas presentan ventajas e inconvenientes aunque actualmente el porcentaje de uso de los métodos para colocar el concreto lanzado es aproximadamente un 70% de concreto lanzado por vía seca y un 30% por vía húmeda.

CAPÍTULO III

PROCESOS DE LANZADO Y TÉCNICAS DE COLOCACIÓN

Para obtener un trabajo exitoso en la colocación del concreto lanzado; es el resultado de una buena planeación en el proceso de lanzado, además de contar con un equipo adecuado, un personal capacitado, una supervisión y llevar un control de calidad, dentro de los de mayor importancia se describen en este capítulo.

III.1 TRABAJOS PRELIMINARES

Es necesario darle una preparación adecuada a la superficie de aplicación antes de la colocación del concreto lanzado, la cual va a depender del tipo de material que está constituida. La naturaleza del soporte o superficie tiene una importancia primordial para la adherencia del concreto lanzado. Cualquier estructura puede servir como superficie de aplicación o como soporte para el concreto lanzado, siempre y cuando sea lo suficientemente sólida para soportar el impacto del chorro de proyección. En seguida se mencionan algunas recomendaciones para la preparación de las principales superficies de aplicación para el concreto lanzado, garantizando una mayor adherencia.

1. En los trabajos donde se aplica el concreto lanzado sobre el terreno natural tales como taludes, el revestimiento de canales, etc., el terreno debe de compactarse y nivelarse antes de aplicar el concreto lanzado, se debe prevenir la absorción del agua de la mezcla hacia el terreno, mediante el humedecimiento de la superficie evitando encharcamientos, o colocando barreras impermeables y en el caso que se requiera, se deben emplear sistemas de anclaje.
2. La adherencia sobre roca es generalmente buena, a condición de que la piedra esté limpia, sana, y sea suficientemente sólida. Debe removerse todo el material suelto, lodo, polvo y sustancias extrañas, para garantizar una buena adherencia, sin embargo la adherencia en rocas intemperizadas, estratificadas y en las rocas que se descomponen

superficialmente al contacto con el aire o con la humedad resulta difícil, por lo que se deben emplear sistemas de anclaje.

3. Cuando se aplica concreto o mortero lanzado sobre superficies de acero, como es el caso en el revestimiento contra el fuego, protección de estructuras marinas, refuerzos estructurales y concreto armado, es necesario antes de la colocación remover el óxido, aceites, pinturas y cualquier otro tipo de contaminante. La limpieza se realiza por lavado con agua, empleando los mismos equipos de concreto lanzado aunque en ciertos casos particulares, es preciso recurrir a otros métodos como chorro de agua a presión, al vapor o al tratamiento por chorro de arena (Sand blast).
4. Cuando el concreto lanzado se utiliza para reparar superficies de concreto o mampostería. Previamente a su aplicación, se deben de eliminar los restos de mortero y lechada. La superficie debe estar rugosa, sana, limpia, libre de partículas sueltas, libre de aceites, grasa, algas, pintura, membranas de curado, material deteriorado o débil que puedan interferir con la adherencia, principalmente con el refuerzo y anclajes. Si la superficie de concreto está sana y lisa, debe de escarificarse mediante picado, escarificado, chorro de agua a presión, sand blast u otros medios mecánicos.
5. Cuando se emplean cimbras, se puede construir de cualquier material rígido como acero, madera, triplay, poliestireno, etc. En todos los casos, la cimbra debe estar correctamente alineada, apuntalada y sujeta, a fin de prevenir vibración o pandeo debido al impacto de la mezcla proyectada o al peso del material en estado fresco. Las cimbras deben diseñarse de tal manera que faciliten la salida del aire comprimido y el rebote durante la colocación. Las cimbras deben cumplir con los requisitos habituales para concreto tradicional, y emplear un desmoldante para evitar la adherencia como la absorción de agua del concreto.

Otro aspecto importante de la preparación del lugar es la colocación de protecciones que impidan que el polvo, el rebote y los derrames dañen los equipos, instalaciones y estructuras adyacentes, incluidas las superficies donde posteriormente se colocará concreto lanzado. Este problema aumenta en los días de mucho viento, por lo que es necesario evaluar el efecto de la aplicación del concreto lanzado a las superficies adyacentes y tomar las medidas necesarias para protegerlos.

Eventualmente la protección se puede hacer aislando las áreas susceptibles a daños de los trabajos de colocación del concreto. Las protecciones con cubiertas pueden ser de madera, metal, láminas de polietileno, o bien pueden ser recubrimientos temporales, como cubiertas de plástico, fundas, y otros elementos que pueden removerse sin dificultad. En algunas ocasiones no es posible proteger las superficies, por lo que se debe realizar la limpieza y lavado de la superficie antes de que endurezca el concreto.

Es necesario tener los equipos y herramientas adecuadas para el retiro de los residuos producto del rebote y limpieza del de trabajo.

III.2 LANZADO

Al igual que todo método de construcción, el procedimiento de lanzado se encuentra sometido a ciertos principios. El elemento humano es el más importante para una exitosa ejecución de una aplicación de concreto o mortero lanzado. La cuadrilla debe de contar con supervisores competentes y operadores hábiles.

La cuadrilla básica puede estar constituida por un encargado, un lanzador, un acabador, un asistente de lanzador, un operador de la máquina de impulsión, un operador del mezclador y obreros de apoyo.

El encargado es responsable de la organización del personal, mantenimiento y limpieza del equipo. Supervisa directamente la ejecución y actúa como nexo con la supervisión general de la obra y con la inspección técnica.

El lanzador debe de verificar las condiciones de las superficies de colocación y el correcto funcionamiento (presiones, velocidad y manejo) de la boquilla de

proyección. Es el responsable de aplicar la mezcla proyectada, controlando el agua en el procedimiento por vía seca o el aire por vía húmeda, asegurando que se obtengan las líneas y niveles requeridos, con una mezcla uniformemente distribuida y con una buena compactación, así como también se encarga del material de rebote y de los desechos sean removidos.

El acabador enrasa y empareja la superficie, localiza y corrige defectos puntuales. Ejecuta las operaciones de terminación final específicas.

El operador de la máquina de impulsión, se encarga de regular el equipo para un flujo uniforme y la velocidad requerida. Es el encargado de limpiar y de mantener en óptimas condiciones la máquina y los accesorios a su cargo.

El operador del mezclador es responsable de la medición precisa de los materiales y de su correcto mezclado, así como de la limpieza y el mantenimiento del mezclador. Al mismo tiempo, recibe los materiales y rechaza partidas en malas condiciones.

III.3 COLOCACIÓN

El objetivo de la colocación de mezclas proyectadas, es obtener un concreto o mortero compacto, resistente y bien adherido, reduciendo al mínimo la pérdida de material debido al rebote en una operación continua y uniforme. El cual va a depender de diversos factores. Las técnicas y procedimientos de colocación se reflejan en la calidad del concreto colocado y en la cantidad del rebote.

III.3.1 Seguridad

Durante la colocación es importante que todo el personal, cercano al área de proyección, use ropas, casco, guantes y protección ocular adecuados, y que se cuente con protecciones para aislar las zonas adyacentes. En áreas cerradas el personal se debe proteger del polvo mediante mascarar o respiradores, y se debe de proveer una ventilación adecuada. En algunos casos, es recomendable proteger la piel expuesta con cremas o ungüentos.

El uso de fibras de acero o vidrio pueden afectar al personal durante la colocación y la terminación, por lo que deben llevar protección completa de la piel y el rostro.

También el ruido de compresores puede representar un factor molesto, y que interfiere en la correcta ejecución, por lo que pueden requerirse ciertas medidas de insonorización.

III.3.2 Comunicación

En cualquier aplicación de concreto lanzado es necesario tener una excelente comunicación entre el lanzador y el operador del equipo. Usualmente se establece en base a las condiciones que rodean cada trabajo Existen diversos métodos que han adoptado según el requerimiento del trabajo. Los tipos más comunes de comunicación empleados en la industria son los siguientes:

a).- Cuando hay una buena visibilidad entre el lanzador y el operador se utilizan señales de mano. El lanzador indicara con un dedo la señal de aire. Apuntando hacia arriba significa un incremento, hacia abajo, reducir el flujo. Una vez que se ha obtenido el flujo adecuado, con dos dedos indicara el inicio del flujo de material. El mismo sistema indicando anteriormente pero ahora con dos dedos hacia arriba o hacia abajo, se utiliza para incrementar o disminuir el flujo material. Para cortar el suministro de material, el lanzador mostrará la señal de dos dedos y moverá su mano hacia los lados. Después de que todo el material ha salido de la manguera indicará con un dedo y moverá su mano hacia los lados indicando el corte de aire.

b).- En áreas de poca visibilidad, lámparas mineras son el medio más utilizado para señalización. Un desplazamiento vertical indicará la señal de aire, para solicitar un incremento de aire repetirá la señal y apuntará hacia arriba hasta tener el flujo deseado, para disminuir repetirá la señal y mirará hacia abajo. Para comenzar el flujo de material se harán dos desplazamientos verticales. El mismo método indicado anteriormente se aplica para incrementar o disminuir el material, varios desplazamientos horizontales indican el corte el flujo de

material y una vez que el material ha salido de la manguera, la misma señal indicará paro.

c).- En zonas donde el lanzador y el operador no tienen visibilidad entre ellos, se emplearán radios para la comunicación. Este método es el mejor de todas las maneras de comunicación, pero en algunas ocasiones no es práctico o permitido.

III.3.3 Técnicas de colocación

Existen diversas técnicas que se pueden emplear para la colocación del concreto lanzado, dichas técnicas son parte de la responsabilidad del lanzador. Al comenzar un trabajo, el lanzador tiene que definir ciertas necesidades para la ejecución de la obra, tales como el tamaño de la boquilla más apropiada, la colocación de reglas maestras, el lugar donde se inicie el trabajo, entre otros.

Por lo general la colocación se empieza de la parte inferior hacia arriba, recubriendo el refuerzo de tal manera que lo envuelva completamente el concreto lanzado, sin que se formen concentraciones de material de rebote.

Si el lanzado se va a realizar sobre concreto, madera, arcilla o roca, se deberá de sopletear el área con aire-agua para humedecer la superficie.

El lanzador mantendrá la boquilla hacia abajo, con el suministro de agua completamente abierto, estando ya en condiciones de efectuarse la mezcla con el material.

Al llegar el flujo de material, rápidamente se debe de regular el suministro de agua y posteriormente dirigir el chorro hacia la zona de trabajo, manteniendo la boquilla entre 0.60 a 1.2 m de distancia de la superficie de aplicación y moviéndola realizando una serie de vueltas de lado a lado y de arriba hacia abajo, como se muestra en la siguiente figura.

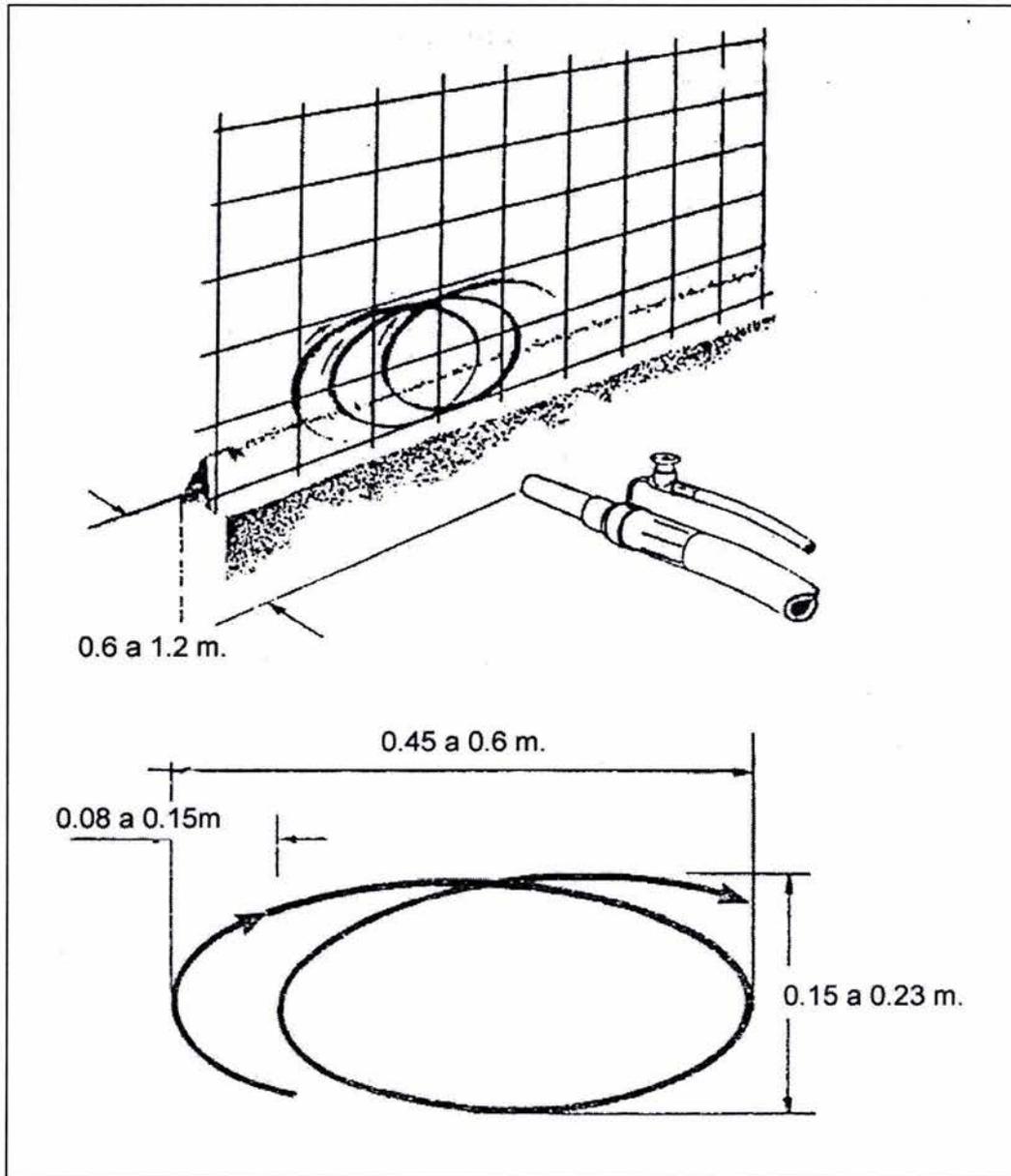


Figura III.1

Para minimizar la fatiga de los brazos: La manguera se debe de colocar entre las piernas del lanzador, preferiblemente entre los muslos. El siguiente paso es apretar las piernas contra la manguera con ello se transfiere el peso de la manguera a las piernas y no a los brazos. Como la fuerza de las piernas es mucho mayor que la de los brazos el lanzador puede fácilmente arrastrar la manguera en cualquier dirección utilizando sus piernas. Con ello se eliminan levantamientos innecesarios, jalones que pueden ocasionar una lesión.

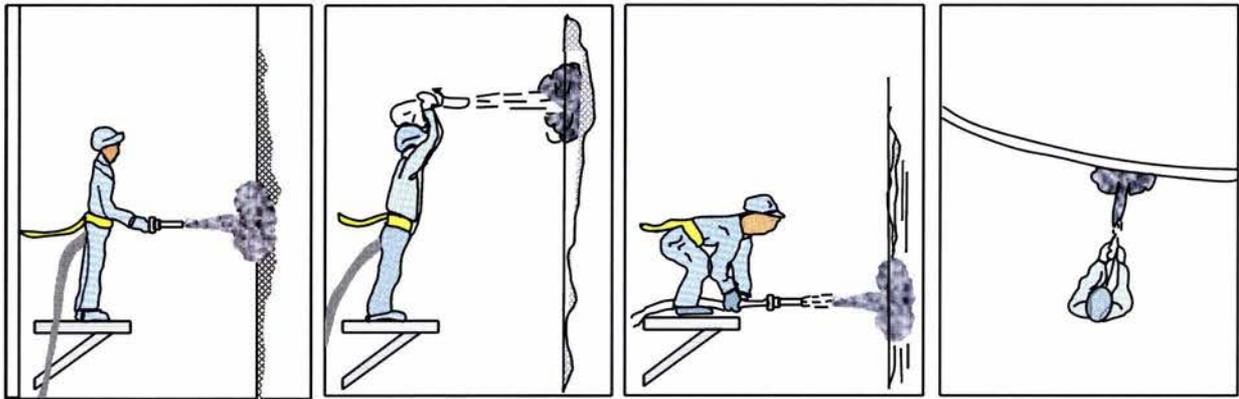
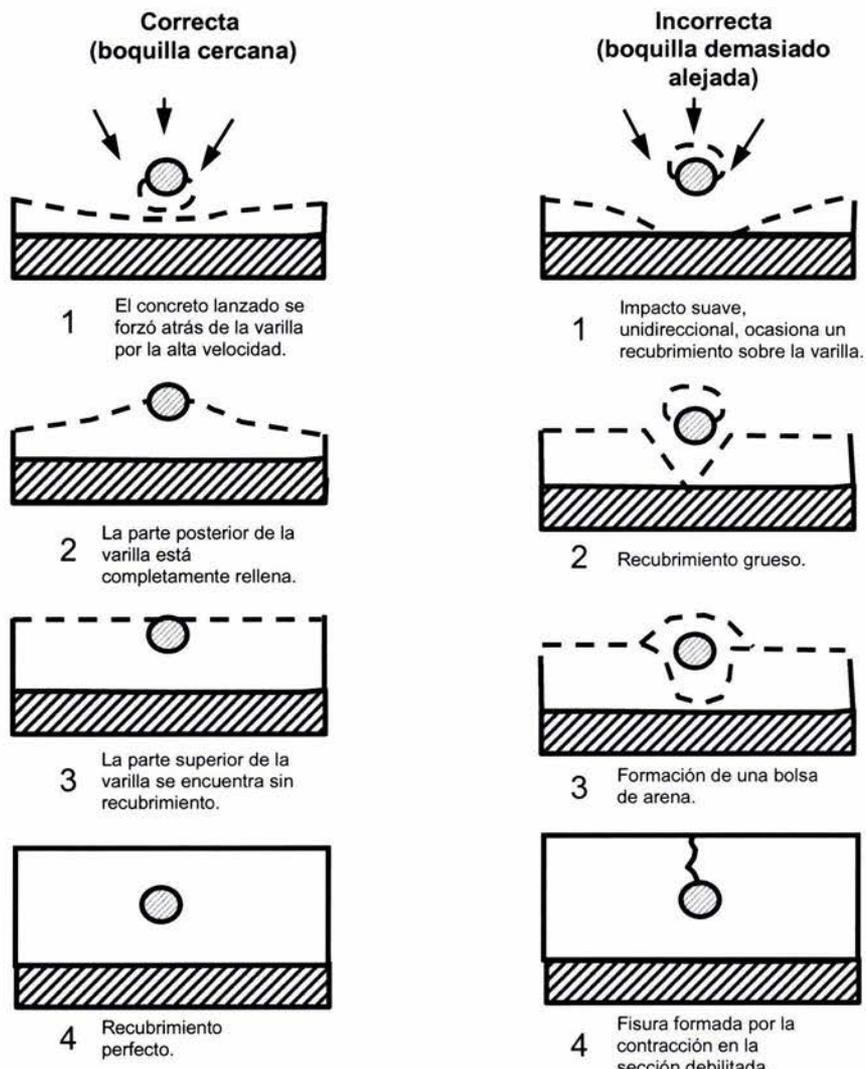


Figura III.2 Posiciones correctas para la colocación del concreto lanzado*

En la figura que se muestra a continuación, se observan los resultados producidos en el recubrimiento del refuerzo, por la operación de una boquilla correcta e incorrecta.

Figura III.3



En la siguiente figura se muestra una sección de un muro vertical durante el proceso de relleno (de abajo hacia arriba), en donde se aprecia la colocación del concreto lanzado en la orilla superior, la cual debe de mantenerse en un ángulo no menor de 45°.

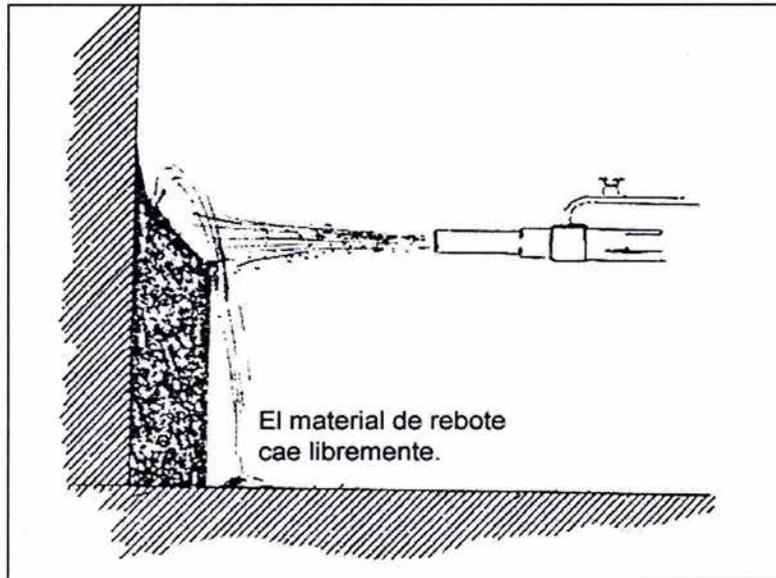


Figura III.4

En túneles el lanzador debe de empezar siempre de abajo hacia arriba, hasta llegar al hombro del túnel, el mismo procedimiento se aplica para el otro lado, el próximo paso es comenzar a aplicar el concreto sobrecabeza. Cuando se realiza cualquier trabajo sobrecabeza el lanzador debe de empezar desde el final hacia el principio, para que el lanzador no quede debajo del concreto recién colocado.

Con este procedimiento se previene cualquier posible accidente si alguna parte se llegara a desprenderse.

III.4 REBOTE

El rebote es una característica principal del concreto lanzado, el cual es un fenómeno que se refiere a las partículas que golpean la superficie y no se adhieren a la misma. Sus causas son numerosas y muy variadas, como pueden ser la naturaleza y la composición de los agregados y el diseño de mezcla, la superficie de aplicación, la presión de proyección, la habilidad del lanzador, el espesor de la capa,

la cantidad de aditivo acelerante y otros más, que afectan en la formación del material de rebote.

Durante el lanzado, en las primeras fracciones de segundo, los granos de mayor tamaño de los agregados no se adhieren, debido a que están cubiertos con pasta, estos se impactan contra la superficie, quedando adherido a esta solo la pasta y rebotando las partículas de mayor tamaño, conforme se incrementa el espesor de pasta sobre la superficie de aplicación, se incorporarán tamaños mayores de partículas disminuyendo en gran cantidad el rebote, aunque una parte del material continúe rebotando todavía. A partir de cierto espesor de aplicación, la cantidad y la composición del material de rebote son constantes, siempre que no intervengan nuevos factores.

El cambio que generalmente se presenta en la cantidad de cemento en relación al agregado para el concreto lanzado, se muestra en la siguiente tabla.*

Tabla III.1

Mezcla dosificada en máquina (volumen seco)	Mezcla colocada en la superficie de aplicación
1 : 3.0	1 : 2.0
1 : 3.5	1 : 2.8
1 : 4.0	1 : 3.4
1 : 4.5	1 : 3.6
1 : 5.0	1 : 3.8
1 : 6.0	1 : 4.1

Por lo general, la cantidad de material de rebote es menor si se utiliza una granulometría bien graduada. Su contenido en ingredientes muy finos (filler) debe de ser ligeramente superior a la normal. Un agregado con tamaño superior a ¾" no es económico, ya que rebota casi en su totalidad; por lo que se puede determinar es que comúnmente el ángulo de rebote sobre la superficie de aplicación es igual que al de impacto.

Otra causa que puede provocar el rebote, es la velocidad de impacto, por lo que cuanto más fuerte sea el impacto, también va a ser mayor el número de partículas que rebotan. No obstante un bajo rebote puede ser tan negativo como un alto rebote, si el concreto lanzado se hace a una baja velocidad y casi no alcanza la superficie, no habrá mucho rebote y esta será cubierta con material.

* Referencia 4.

Esto aparentemente es satisfactorio, pero en realidad no hay adherencia, y provoca una compactación o densidad insuficiente del concreto lanzado colocado en obra, obteniendo un concreto de mala calidad. Por consiguiente, existe una velocidad de impacto óptima que produce el mínimo de material de rebote obteniendo la mejor compactación, densidad y adherencia.

La cantidad de material que rebota y que se pierde es muy variada, la cual va a depender del tipo de obra que se realice. Por ejemplo, si se proyecta verticalmente hacia arriba durante el revestimiento de una bóveda de túnel, prácticamente todas las partículas que rebotan caen al suelo, razón por la que el material de rebote es mayor. En cambio, cuando la proyección es sobre una superficie vertical como es el caso, contra un muro, una parte del material que rebota es empujado de nuevo por el cono de proyección antes de que pueda caer. Esto explica que la cantidad de material de rebote es inferior durante la aplicación sobre superficies verticales.

Por otra parte, la cantidad de rebote también va a depender del ángulo de impacto del material que es lanzado, siendo mayor cuanto más oblicuo sea el ángulo entre el cono de proyección y la superficie de aplicación, el cual se muestra enseguida.

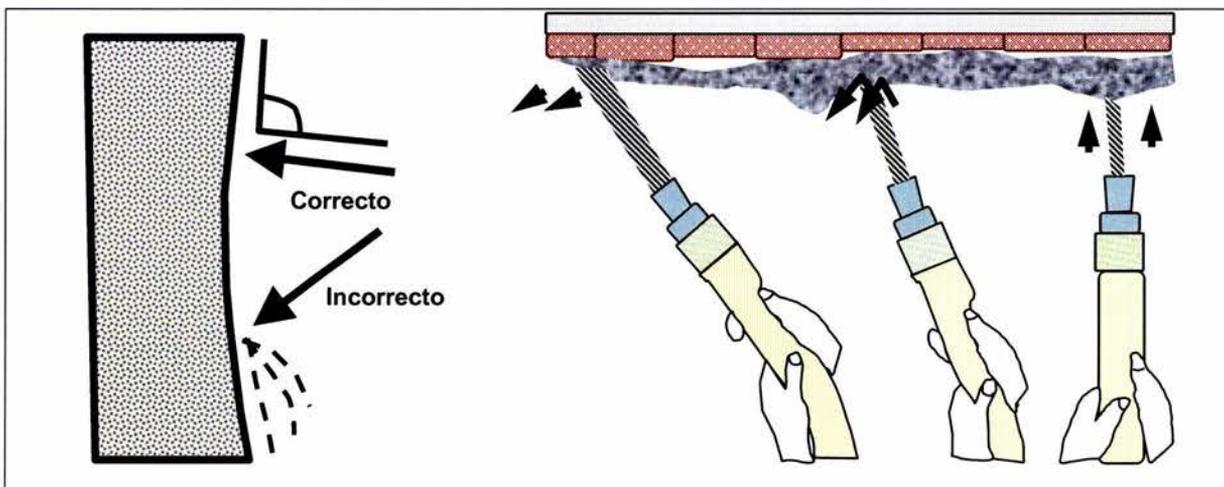


Figura III.5

Finalmente, si la boquilla se dirige perpendicularmente hacia abajo, por ejemplo; sobre el fondo de una piscina, el material que rebota se acumula sobre la superficie de aplicación, en la que un lanzador experto puede reincorporarlo continuamente, ya sea una parte o totalmente, en el concreto colocado en obra: en este caso, el material de rebote es muy reducido o casi nulo.

Por lo consiguiente, se determinaron los porcentajes de material de rebote que se presentan comúnmente, de acuerdo al tipo de proyección y la superficie en que sea colocado.*

Tabla III.2

Valores típicos de rebote		
	Vía seca	Vía húmeda
Superficies horizontales	5 – 15%	0 – 5%
Superficies verticales	10 – 30%	5 – 10%
Sobrecabeza	25 – 50%	10 – 20%

Nota: Estos valores pueden ser hasta un 50 % mayor si se aplican capas muy delgadas o cuando se lanza a través de mucho refuerzo.

El material de rebote disminuye generalmente si se utiliza un acelerante o un acelerador de fraguado, en este caso, el concreto lanzado puede aplicarse por capas más espesas. Un caso particular, es cuando la superficie de aplicación es vertical; una dosificación apropiada del acelerador permite colocarlo en obra, de manera ininterrumpida y en capas cuyo espesor es prácticamente ilimitado.

Un lanzador sin experiencia o agregados de mala calidad, son factores que pueden aumentar sensiblemente la cantidad de material de rebote. Si la curva granulométrica del material de rebote es diferente a la de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla en seco, esta diferencia que presenta depende de los factores que provocan el rebote.

Para el concreto lanzado propiamente dicho, el material de rebote debe considerarse como totalmente perdido. En la mayoría de las veces resulta muy difícil y costoso recuperarlo a tiempo y sin impurezas para transportarlo a la mezcladora y reutilizarlo.

* Referencia 4.

III.5 CURADO

El concreto lanzado necesita, al igual que el concreto tradicional, un curado adecuado para desarrollar todas sus propiedades para la cual fue diseñada la mezcla, siendo que esta situación que se vuelve más crítica cuando se emplean aditivos acelerantes.

Es muy importante proporcionar un ambiente húmedo con temperaturas apropiadas para prevenir la pérdida de agua, durante un periodo definido, a fin de lograr una hidratación adecuada del cemento y obtener las características deseadas.

Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes del concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad. El secado puede eliminar el agua necesaria para esta reacción química denominada hidratación y por lo cual el concreto no alcanzará sus propiedades potenciales.

La temperatura es un factor importante en un curado apropiado basándose en la velocidad de hidratación y por lo tanto, el desarrollo de resistencias es mayor a más altas temperaturas. Generalmente, la temperatura del concreto se debe de mantener arriba de los 10°C para un ritmo adecuado del desarrollo de resistencias. Además debe de mantenerse una temperatura uniforme a través de la sección del concreto, mientras está ganando resistencia, para evitar las grietas por choque térmico.

Para el concreto expuesto, la humedad relativa y las condiciones del viento son también importantes; contribuyen al ritmo de pérdida de humedad en el concreto y pueden dar como resultado un agrietamiento, una pobre calidad y durabilidad superficial.

Las medidas de protección para el control de la evaporación de humedad de las superficies del concreto antes de que fragüe, son esenciales para evitar la figuración por retracción plástica.

Existen diversos procedimientos de curado del concreto; el ACI 318 nos proporciona una mayor información. Si se emplean compuestos o membranas de

curado, éstos deberán de removerse en su totalidad antes de la aplicación de la siguiente capa ya que pueden afectar la adherencia entre las mismas.

Una excelente opción es el uso de aditivos de curado interno de concreto ya que no implican ningún trabajo adicional para la aplicación de la siguiente capa y no afectan negativamente la resistencia ni la adherencia, además de empezar a trabajar desde el primer minuto, garantizando un curado adecuado.

III.6 CONTROL DE CALIDAD

La calidad de la aplicación del concreto o mortero lanzado, va a depender fundamentalmente de las habilidades y conocimientos de la cuadrilla, es de gran importancia que todo el personal se haya desempeñado satisfactoriamente en trabajos similares por un cierto periodo. Se debe de disponer del entrenamiento y la organización necesarios para conformar un equipo orientado a obtener mezclas proyectadas de la más alta calidad posible.

El encargado normalmente domina todos los cargos de la cuadrilla y tiene aproximadamente 3000 o más horas de experiencia. El lanzador debe tener el mismo tiempo de experiencia en aplicaciones similares y debe demostrar en las pruebas previas a la construcción, su habilidad para lograr la calidad requerida según las especificaciones. El terminador requiere de una práctica previa en los procedimientos de terminación para aplicar en la obra. El operador de la máquina de impulsión, debe de estar familiarizado y capacitado para operar el equipo disponible y preparado para utilizar el método de comunicación, con una experiencia de un año o más.

III.6.1 Inspección

Los diversos métodos que se emplean para analizar el concreto lanzado fresco, no son muy diferentes de aquellos que se utilizan para analizar el concreto normal fresco. Por ejemplo, para determinar el contenido aproximado de cemento de una muestra, se deberá de lavar a través de un juego de cribas y tomando la parte que pase la malla núm. 200 como el contenido total de cemento.

Para analizar el concreto lanzado endurecido se utilizan las mismas técnicas que se aplican en el concreto convencional, se pueden quitar los especímenes de la sección de prueba por medio de corte con sierra de diamante o puede sacarse un corazón para inspección visual, a fin de confirmar el encajonamiento del acero de refuerzo, la ausencia de material de rebote atrapado y la calidad general del trabajo. Si la resistencia es una preocupación, pueden practicarse pruebas apropiadas a los especímenes en un laboratorio.

Se debe contratar un inspector calificado de base con tiempo completo para el trabajo de concreto lanzado estructural. Además de observar constantemente la operación de la boquilla, ocasionalmente debe quitarse algo del material de concreto fresco lanzado desde atrás del refuerzo grande o congestionado. Esto confirmará el relleno completo y la ausencia de material de rebote u otras condiciones no satisfactorias. Obviamente, tal inspector debe también procurar los especímenes requeridos para la evaluación de la resistencia. En los casos en que la resistencia del trabajo terminado sea cuestionada, se pueden obtener especímenes de corazones para las pruebas correspondientes, tal como se hace con el concreto normal.

III.6.2 Pruebas

El concreto lanzado presenta ciertos problemas cuando se requieren pruebas de control o de aceptación. La comprobación de los valores de resistencia a la compresión son obtenidos mediante la ruptura de corazones cortados los cuales pueden tomarse del concreto lanzado al elemento de trabajo o de muestras representativas.

Para la prueba de absorción se toma una muestra de concreto lanzado y por inmersión simple, no deberá de exceder del 10 % de agua absorbida, siendo normal del 6 al 7 %.

Generalmente en las pruebas de permeabilidad se aplican presiones elevadas de agua por un lado de la muestra y se determina el grado de permeabilidad. El concreto lanzado es muy impermeable, el cual puede demostrarse con una sencilla prueba en un recipiente a presión; en donde se coloca la muestra de concreto

lanzado de 50 mm de espesor, el cual puede soportar una presión de 700 kN/m^2 sin que se aprecie filtración alguna.

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; por lo que, al emplear cemento aluminoso o el cemento resistente a los sulfatos, aumenta esta resistencia.

La prueba con el martillo Schmidt o esclerómetro presenta diversas ventajas para la determinación de la superficie del concreto lanzado, las cuales pueden ser; la detección de partes huecas, las cuales muestran lecturas muy bajas con relación al resto de la superficie, probar la uniformidad de su resistencia, la determinación de su sanidad estructural; como es el caso en áreas dañadas por el fuego y en muros marítimos.

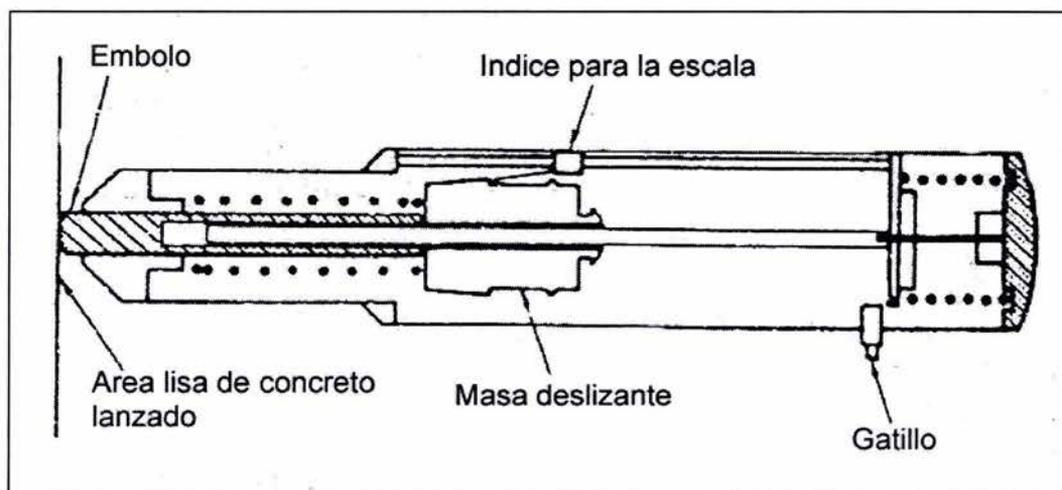


Figura III.6 Martillo de rebote Schmidt

CAPÍTULO IV

DESEMPEÑO DEL CONCRETO LANZADO

El concreto lanzado es un método ideal para las obras donde se requiere la estabilización de rocas, taludes y trabajos subterráneos tales como: túneles, galerías y cavernas, así como también para revestir e impermeabilizar obras hidráulicas como cisternas, estanques y canales, reparación de estructuras de acero y concreto, dentro de las principales se describen en el presente capítulo.

IV.1 CONCRETO LANZADO COMO SISTEMA DE SOPORTE

IV.1.1 Soporte de rocas

Una de las principales ventajas que tiene el concreto lanzado como método de soporte de rocas es su extrema flexibilidad, que le permite actuar como un recubrimiento final y adaptarse a las diferentes formas de las rocas. Además de sus diversas propiedades tanto estructurales como físicas, se puede aplicar en grandes cantidades disminuyendo las demoras en el avance e incrementando la seguridad y con un costo mucho menor que otros sistemas de soporte.

Cuando aplicamos el concreto lanzado contra la superficie de roca, a altas velocidades, primero se deben de llenar las grietas, fallas, fisuras, y después aplicar una capa uniforme al resto de la superficie, incluyendo las zonas previamente lanzadas; con ello se unen partículas parcialmente soportadas y se previenen deterioraciones futuras.

La primera capa que se coloca sobre la superficie está constituida por la pasta de cemento (cemento y agua) y agregados finos menores a 0.2 mm, los cuales son transportados por el agregado grueso, el cual se encuentra cubierto de ellos inicialmente. Durante la construcción de esta primera capa el agregado grueso rebota casi en su totalidad, pero deposita en la superficie de la roca el material más fino, los cuales se introducen y rellenan las fisuras, grietas y juntas en el contorno de la roca y se compactan por impactos subsecuentes el cual tiene un efecto de pegado, cuando el concreto endurece.

Obtenemos así un efecto de cuna, (similar al mortero que empleamos para pegar ladrillos en una construcción tradicional).

Una vez que se ha colocado esta primera capa de material fino, permitirá a las partículas mayores incorporarse e incrementar el espesor que se está colocando, disminuyendo el rebote del material grueso y compactándose con las proyecciones sucesivas.

La capa de concreto lanzado se adherirá a la superficie con una resistencia máxima de 3 Mpa, siendo que la adhesión es mucho mejor en rocas limpias, y rugosas, que sobre superficies lisas como metal o plástico, aunque las rocas que presentan cierta intemperización, superficies arcillosas ó lodosas se puede obtener una adhesión muy pobre.

La superficie de la roca se puede limpiar usando la boquilla para lanzar agua y aire comprimido, eliminado así las partículas sueltas, el polvo, lodo, etc.

La adhesión del concreto lanzado a la roca se puede dañar por la presencia de agua en la superficie, por lo que esta deberá de ser canalizada o drenada, antes de aplicar el concreto lanzado.

El concreto lanzado además del efecto de cuña nos ofrece varios efectos en la estabilización de obras subterráneas tales como:

- Resistencia al corte, lo que significa que un bloque de roca solo puede caer únicamente por los esfuerzo de corte a través de la capa de concreto lanzado.
- Nos crea un efecto de arco al aplicarlo el toda la superficie del túnel, aunque en ocasiones actúan sólo en pequeños arcos locales.
- Protege a la roca del intemperismo y los cambios de temperatura.
- Mantiene las partículas pequeñas en su lugar evitando que se caigan las rocas más grandes, creando una estabilidad al momento de su aplicación.
- Transmite los esfuerzos de las zonas débiles a rocas sanas, redistribuyendo los esfuerzos actuantes.
- Efectos simultáneos y combinados de los mecanismos mencionados anteriormente.

Para una aplicación en el soporte de rocas a manera de ejemplo tenemos lo siguiente:

En la mina Proaño del grupo Peñoles, situada en la ciudad de Fresnillo, Zacatecas, era necesario estabilizar la roca para evitar derrumbes, sellar algunas filtraciones de agua, reforzar fallas geológicas y proteger la roca del intemperismo. Todo ello para lograr una mayor seguridad en los trabajos de minería con la protección del personal y el equipo.

Se emplearon anclas incrustadas en la roca con mallas de acero de refuerzo y concreto lanzado por vía seca para formar un anillo autotransportante, resistente a las condiciones del trabajo.

Posteriormente se analizaron las propiedades físicas de los agregados (grava de río triturada) y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla IV.1

Propiedad física	Grava no triturada	Grava de río triturada
Tamaño máximo	3/8"	
Densidad	2.41 kg/l	2.45 kg/l
Absorción	4.61 %	4.23 %
Peso volumétrico suelto	1,198 kg/m ³	1,409 kg/m ³
Peso volumétrico varillado	1,342 kg/m ³	1,562 kg/m ³
Pérdida por lavado		4.29 %
Módulo de finura		2.84

Después de analizar las propiedades físicas de los agregados, se procedió a hacer un diseño de mezcla para un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, tomando en cuenta la curva granulométrica del ACI 506 R con la graduación número 2 para combinar los agregados. Se utilizaron inicialmente 400 kg de cemento portland tipo 1 y una dosificación de aditivo acelerante al 3% en relación con el peso del cemento, adicionándole humo de sílice con una dosificación del 10% en relación con el peso del cemento.

La dosificación fue la siguiente:

Tabla IV.2

Material	Sin humo de sílice	Con humo de sílice
Cemento tipo I	400 kg/m ³	400 kg/m ³
Humo de sílice		40 kg/m ³
Grava de 3/8"	640 kg/m ³	640 kg/m ³
Arena	969 kg/m ³	969 kg/m ³
Agua	180 kg/m ³	180 kg/m ³
Acelerante	3%	3%
Fibra	20 kg	20 kg

Para obtener una alta calidad en el concreto lanzado, se requiere la correcta dosificación de acelerantes, humo de sílice, agregados, cemento y agua. Difícilmente se pueden conseguir las especificaciones si no se mantiene un correcto dosificado y mezclado de estos componentes.

Para medir los resultados a compresión a los 28 días fue necesario lanzar concreto en unas charolas metálicas de las que se extrajeron posteriormente cuatro cubos de 5 × 5 cm (dos con humo de sílice y dos sin humo de sílice) para su prueba a compresión. Esta prueba se realizó de acuerdo con la norma ASTM 109-92 y se presentaron los siguientes datos:

Tabla IV.3

Característica	Sin humo de sílice	Con humo de sílice
Peso gr	284	293
Área cm ²	27.56	27.04
Carga kg	9,650	17,250
Esfuerzo kg/cm ²	385	591

Al utilizar el humo de sílice en el concreto lanzado (fresco), se obtuvieron diversas ventajas, entre las que se mencionan las siguientes:

1. Disminución del rebote en 20% aproximadamente aún sobre cabeza, logrando una mayor economía al disminuir el desperdicio de material.
2. Aumento de la cohesión de la mezcla al lograr espesores de capa mayores con una aplicación, lo cual evita la necesidad de varias capas subsecuentes para llegar al espesor requerido, reduciendo así el costo de la aplicación.
3. El incremento aproximado en el espesor fue el siguiente: sobre cabeza 80 por ciento y en vertical del 60 por ciento.
4. Reducción de la exudación o sangrado del concreto.

Al utilizar esta tecnología del humo de sílice, se muestra que el soporte de concreto lanzado en la mina tiene una gran resistencia, la cual es desarrollada con espesores menores y con una función estructural.

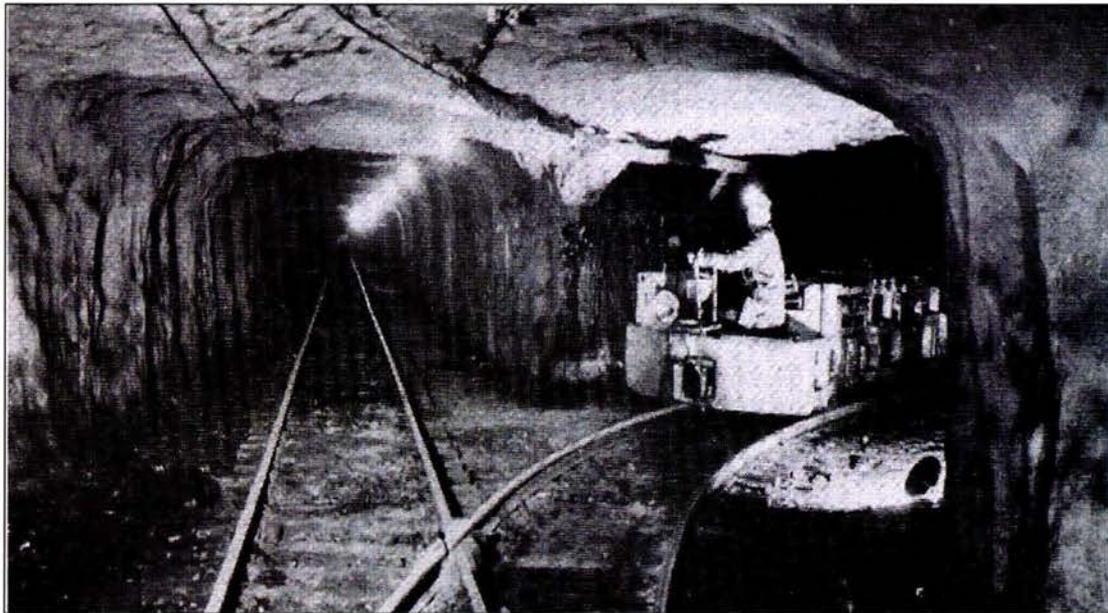


Figura IV.1 Revestimiento de la mina con concreto lanzado

IV.1.2 Estabilización de excavaciones

Un uso muy frecuente del concreto lanzado es el de estabilizar provisionalmente las paredes de las excavaciones y los taludes generalmente de las carreteras. En este caso, el concreto lanzado protege el terreno contra la filtración del agua de lluvia y contra la erosión provocada por el viento, así como también los cambios rápidos de temperatura.

Para las excavaciones en terrenos deleznable como los de grava- arcilla, pizarras, yeso, pueden sellarse mediante un recubrimiento en las caras expuestas con una capa delgada de concreto lanzado, con lo cual se impide el desmoronamiento y la pérdida de tierra o del material del terraplén que pueden caer en el fondo del refuerzo que se use en la construcción de cimentaciones y muros de contención.

Comúnmente el concreto lanzado es utilizado en combinación con anclas de roca y con mallas de acero, siendo estas últimas de dos tipos: la malla cadena y la de alambre soldado. La malla cadena es flexible y fuerte la cual se coloca generalmente de forma rígida contra la pared y es sujeta a la roca a intervalos de 1 a 1.5 m, pero en algunas ocasiones no es muy favorable su combinación con el concreto lanzado, puesto que esta causa un gran rebote y presenta un insuficiente refuerzo al concreto lanzado.

Por otra parte, la malla soldada está formada por alambres de acero de 4.2 mm, colocados en un modelo cuadrado o rectangular en intervalos de 100 mm y soldados en cada intersección. Esta es empleada para proveer un confinamiento a la roca, entre las anclas de roca y para reforzar el concreto lanzado. La malla soldada es mucho más rígida que la malla cadena, por lo que se utiliza en la mayoría de las veces para confinar la superficie de la roca entre las anclas de roca. La principal ventaja de la malla soldada es su rigidez, debido a que uno puede seguir con la excavación y después se lanza el concreto. La malla soldada es pegada a la superficie de la roca por medio de la placa de la ancla de la roca o por unas placas adicionales sobre las anclas de roca existentes, como se muestra en la siguiente figura.

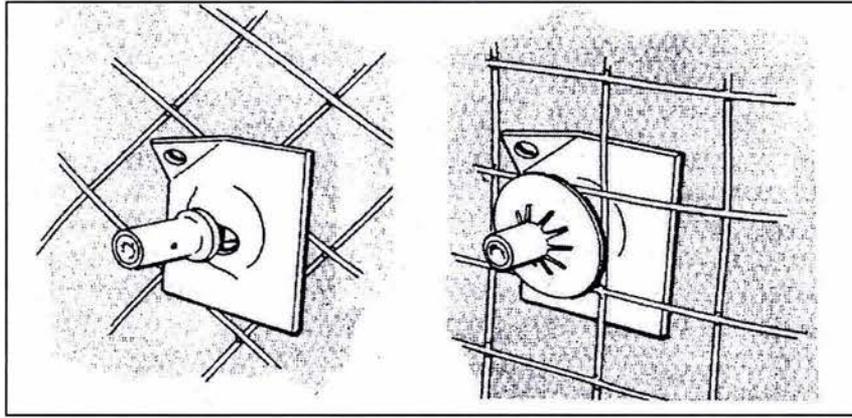


Figura IV.2

Actualmente se ha incrementado el uso del concreto lanzado para el soporte de la superficie de la roca entre las anclas de roca. A continuación se muestran los detalles del refuerzo en la aplicación de concreto lanzado en combinación con anclas de roca.*

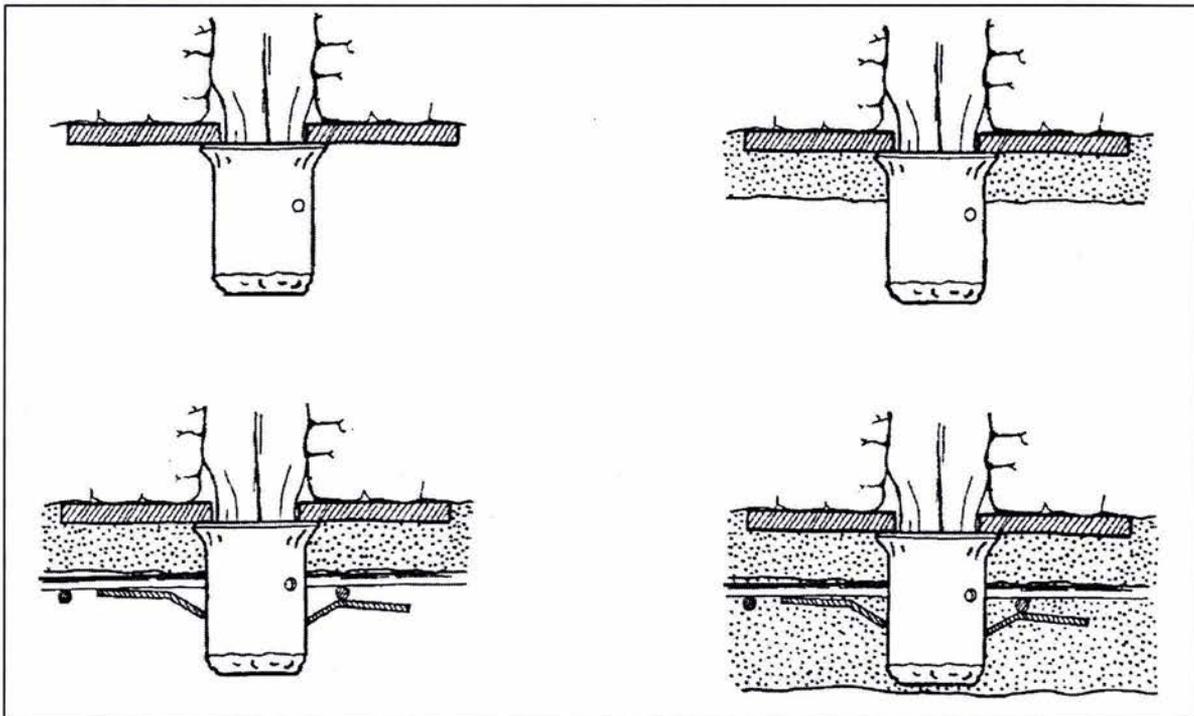


Figura IV.3

Cuando se va a impermeabilizar una obra subterránea y se encuentran filtraciones durante la excavación, es conveniente efectuar de inmediato una impermeabilización previa, la cual consiste en la captación y desviación del agua, la

cual se va hacer por medio de semitubos que se fijan a la superficie de aplicación con la ayuda de un mortero de fraguado rápido, de tal manera que se forme un canal cerrado que parte del punto de salida del agua, así el agua podrá fluir a través de este canal, que por lo general llega al drenaje principal. A continuación se muestran algunas imágenes

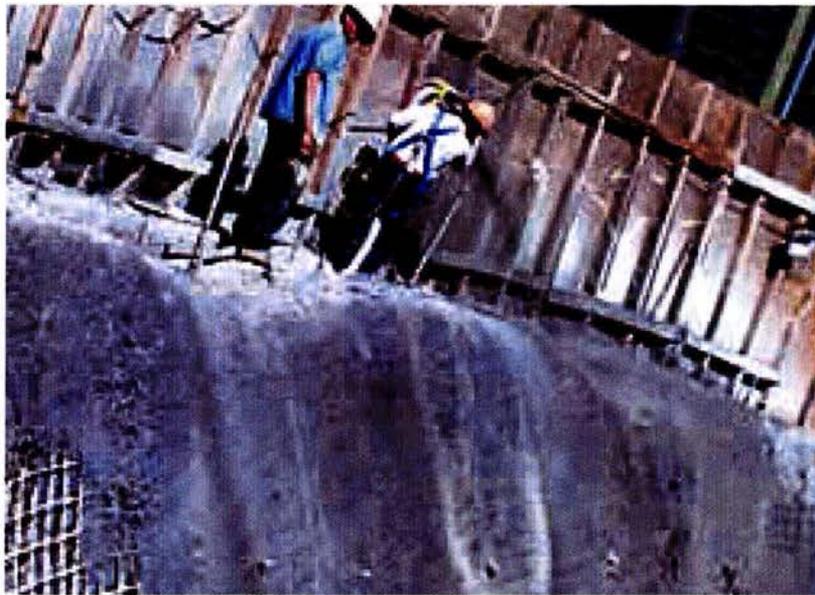


Figura IV.4

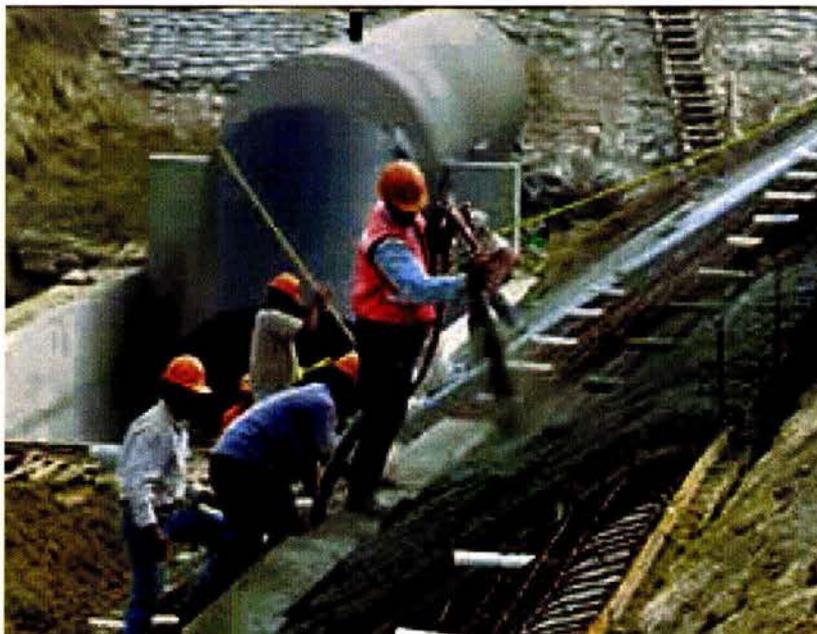


Figura IV.5



Figura IV.6

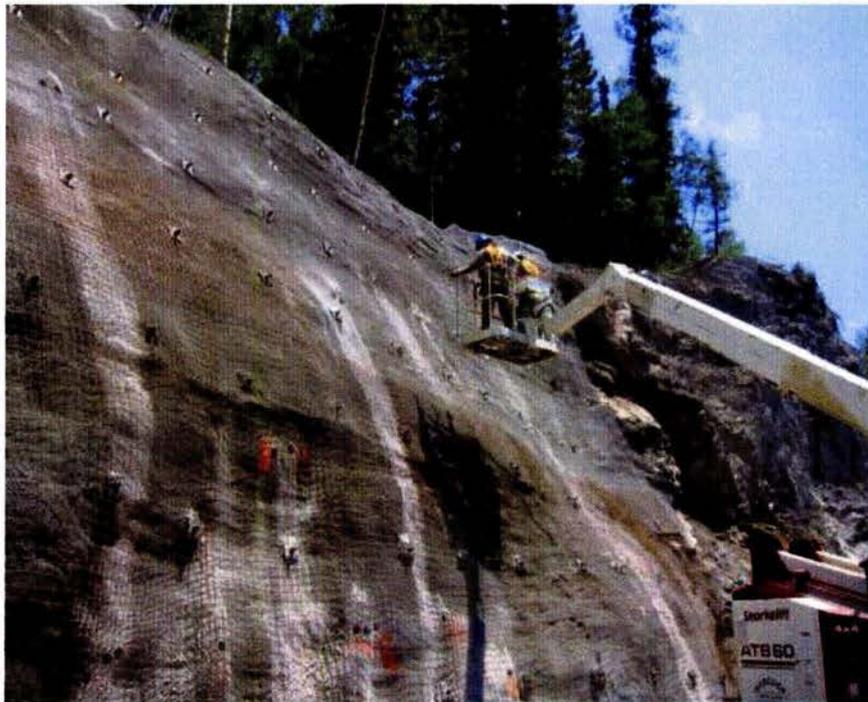


Figura IV.7

IV.1.3 Revestimiento de túneles

Uno de los usos ideales que presenta el sistema de concreto lanzado, es la construcción de túneles en roca dura, pero para obtener éxito en una aplicación de este tipo es necesario una colocación concienzuda y una disminución en el rebote o trampas de arena. Por lo general estos revestimientos no van reforzados. Un ejemplo de sistema empleado para este caso es el Rabcewicz, que consiste en hacer los lanzamientos en arcos de acero, pero con una capa de concreto lanzado más delgada y manteniendo un apoyo.

Por otra parte dependiendo de las condiciones, los túneles en roca suave pueden ser más apropiados que los túneles en roca dura para el revestimiento de concreto lanzado: una lanzadora que es colocada en la parte posterior de una máquina excavadora puede revestir el túnel continuamente conforme avanza la máquina.

Las mezclas en los túneles tienden a contener una proporción muy grande de agregados gruesos. Una mezcla típica contiene de 300 a 350 kg de cemento por m^3 , teniendo una relación de cemento- arena de 1:4 por kg y 60 % de finos, 40 % de agregados gruesos con un tamaño máximo de 25 mm.

Para una aplicación en el revestimiento de túneles a manera de ejemplo tenemos lo siguiente:

En el proyecto hidroeléctrico el Cajón, situado en Nayarit, era necesario realizar una obra de desvío en la presa, la cual consistió en la construcción de dos túneles de sección portal de 14 x 14 m y una longitud de 734,09 m y 835,06 m respectivamente, localizados en la margen izquierda del río, excavados en roca, para ser revestidos posteriormente de concreto hidráulico en la plantilla y de concreto lanzado en las paredes y bóveda, diseñados para transitar una avenida de diseño de $6711m^3/s$. Los portales de entrada y salida serán excavados en roca, cada túnel cuenta con una lumbrera revestida de concreto para alojar y operar los obturadores accionados por malacates estacionarios para el control del flujo de agua. La compuerta se deslizará a través de una lumbrera vertical revestida de

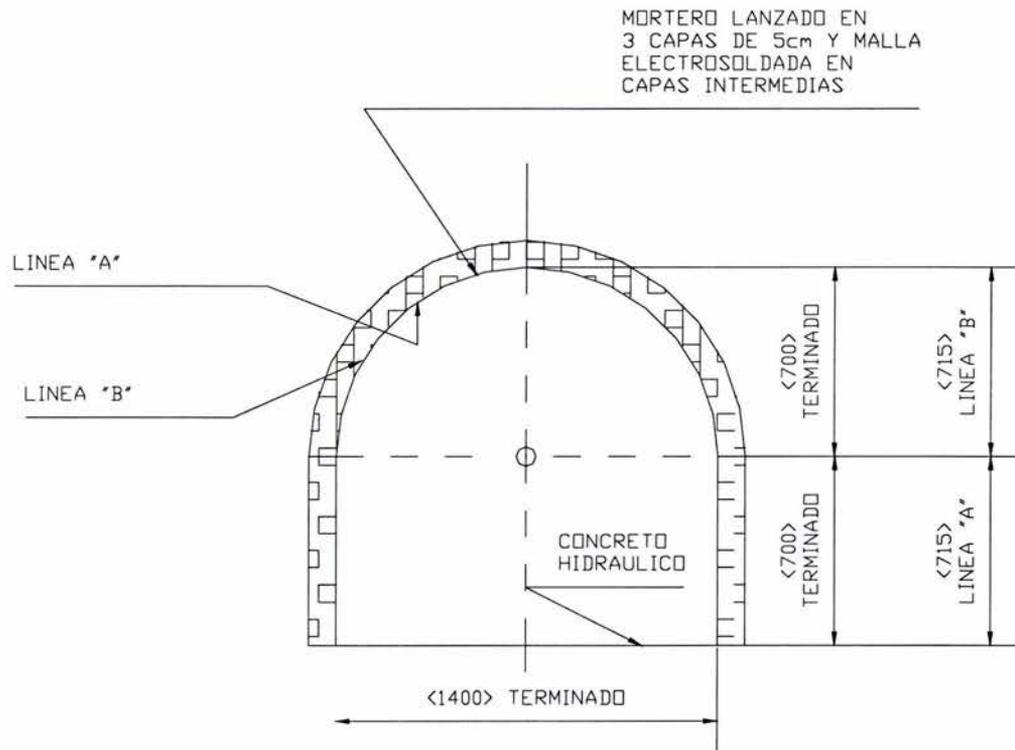
concreto por medio de un malacate; el mecanismo instalado estará en la plataforma junto al marco que soportará la compuerta durante el cierre final.

Se complementa con dos ataguías, construídas con materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas ataguías (una a cada lado de la cortina) estará ligado a una pantalla impermeable construída sobre aluvión, hasta la roca sana del fondo del cauce del río para evitar filtraciones hacia la zona de construcción de la cortina, garantizando la correcta construcción del núcleo y pantalla impermeables, para tener las condiciones adecuadas en la zona del desplante del plinto.

Para la estabilización de las excavaciones se deberán realizar los tratamientos al macizo rocoso más adecuados, consistentes en: preanclajes, anclajes, concreto lanzado, y en los portales de entrada y salida se deberán utilizar ademes metálicos.

A continuación se muestra la sección transversal del túnel para la obra de desvío.

Figura IV.8



Sección transversal del túnel

Tabla IV.4

<i>Dato Específico</i>	<i>Cantidad</i>
Excavaciones subterráneas	338 818 m ³
Terracerías	867 494 m ³
Concreto lanzado	12 433 m ³
Acero de refuerzo	610 t
Barrenación para drenaje	17 286 m
Anclaje	189 523 m
Malla electrosoldada	127 361 m ²



Figura IV.9 Revestimiento del túnel

IV.2 CONCRETO LANZADO COMO SISTEMA DE REFUERZO Y REPARACIÓN

IV.2.1 Refuerzo en la mampostería

La mampostería o el concreto dañado que resulta inestable puede repararse rápidamente, reforzándolo mediante una combinación de inyecciones con mortero y concreto lanzado.

Una de las situaciones muy comunes que se presentan en los muros de muelles, presas, revestimientos de canales, vertederos, estribos de puentes, pilotes, malecones y diques, es en donde la estructura original se ha deformado, la cual tiene fisuras o el mortero se ha deslavado fuera de las uniones, provocando que el agua pase libremente a través de la estructura y ocasione una destrucción progresiva. Una solución frecuente para este problema de restauración, que presenta la mampostería defectuosa, consiste en recubrir toda la estructura con concreto lanzado reforzado, para sellarla y que proporcione un buen servicio, en la siguiente figura se indica el proceso de reparación que frecuentemente se realiza en un muro marítimo deteriorado.

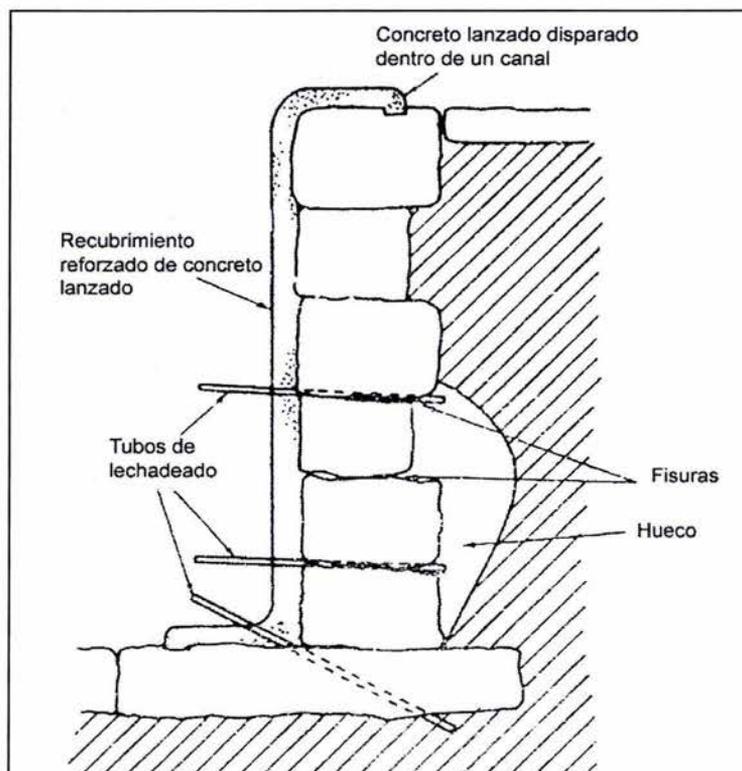


Figura IV.10 Reparación de un muro marítimo

En el caso de los muros para terraplén, es una situación de suma importancia, ya que puede ocasionar fallas y colapsos en un tiempo muy corto. La solución a este problema no es simplemente detener el agua que se filtra a través de la pared, ya que esto puede generar un aumento de presión de agua y acelerar la formación de la falla, sino que se deben de realizar los siguientes pasos como se ilustran a continuación.

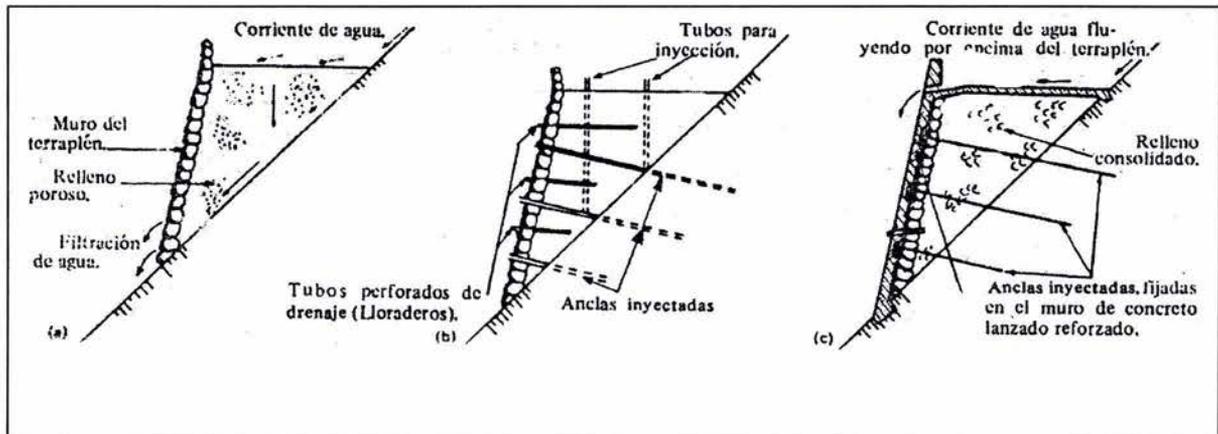


Figura IV.11 Aplicación del concreto lanzado y mortero inyectado para la reparación de un terraplén en una montaña con peligro de falla.

Para la reparación de las estructuras marítimas las cuales son construidas en el mar o que se localizan cerca de este lugar, se encuentran sujetas a un fuerte ataque de las sales solubles que están dispersas en el aire, brisa o en la lluvia. Estas estructuras también están sometidas a los ataques por la acción de las olas, el desgaste debido a la arena que contiene las olas, así como también por la erosión ocasionada por los microorganismos marinos que se adhieren a las rocas.

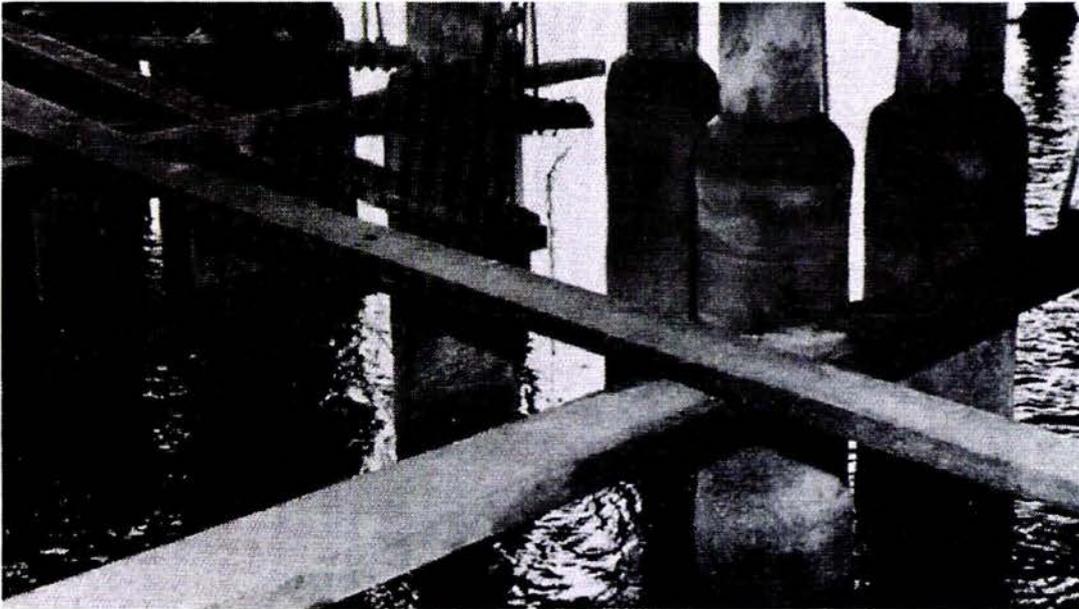


Figura IV.12 Reparación de pilares marinos

En el caso de un puente de arcos que se estén derrumbando, por lo general, la única solución práctica es la construcción de un arco nuevo con concreto lanzado debajo de éste.

IV.2.2 Refuerzo de las estructuras de acero

Cuando una estructura de acero se encuentra dañada por la corrosión o el desgaste, primero se debe de determinar la cantidad de acero que esta estructura ha perdido por la erosión y posteriormente se determina cuanto refuerzo se necesita y en donde se deberá de colocar.

En el caso de una columna de acero, cuando esta se corroe, generalmente se encajona el poste con concreto lanzado reforzado con malla para restaurar el área de compresión de la sección, siendo que el concreto lanzado que cubrirá la columna puede ser completo o de contorno.

Cuando un tensor de acero se ha corroído, el área de la sección faltante de acero se va añadir al tensor en forma de varilla, la cual se va a colocar cerca del centro de tensión y se extiende a lo largo del tensor. El refuerzo adicional se puede soldar o amarrar con alambre al tensor y finalmente se recubre con concreto lanzado, aunque en algunos casos es más conveniente recubirla con métodos más ligeros.

Para el refuerzo de las vigas cuando estas son corroídas, deben de tomarse medidas separadas de la erosión en el patín inferior y superior, así como en el alma de la viga, ya que el refuerzo debe de diseñarse tanto para compensar la pérdida de área debida a la corrosión como para compensar el peso del recubrimiento.

Si el acero que se va a recubrir con concreto lanzado se encuentra muy corroído, deberá de limpiarse perfectamente con un cepillo de alambre y después lavarlo, antes de la colocación del concreto lanzado, para obtener una buena adherencia.

A continuación se muestran algunos moldeados de concreto lanzado para estructuras de acero.

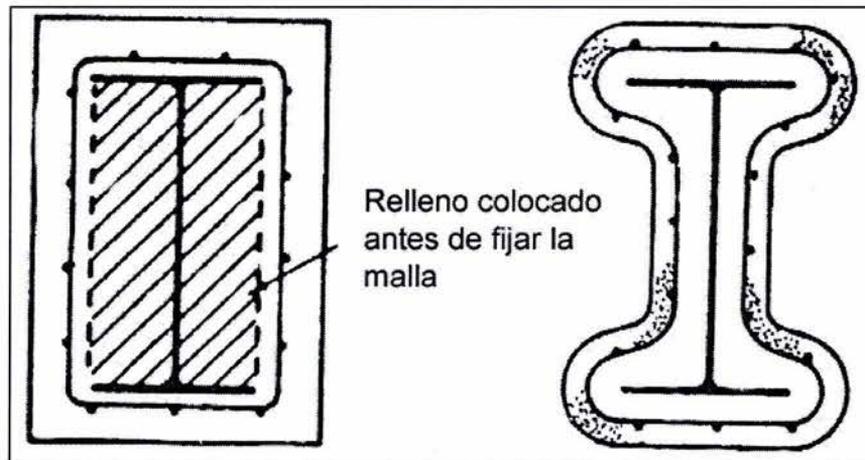


Figura IV.13 Completo

Contorneado

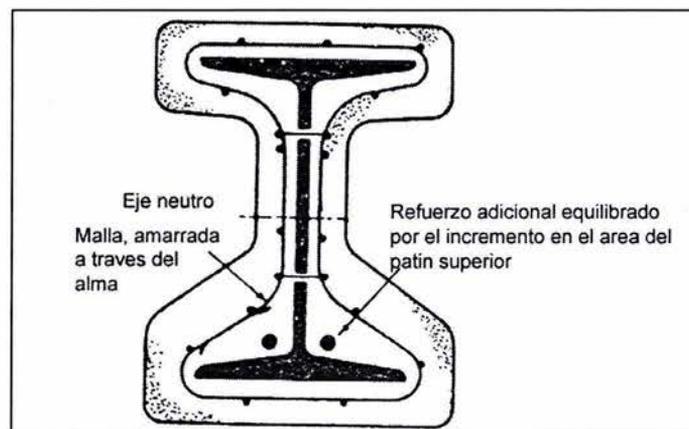


Figura IV.14 Detalle del moldeado contorneado

Para las estructuras de acero que se localicen en el mar especialmente y que requieran una reparación, se va a realizar de la manera en que se ha descrito anteriormente, a excepción de que se requiere de un espesor adicional para el recubrimiento del acero.

IV.2.3 Refuerzo de estructuras de concreto reforzado

Uno de los casos más frecuentes que se presenta en las estructuras de concreto reforzado es cuando son deterioradas o afectadas debido a la oxidación del refuerzo y el descascaramiento del recubrimiento del concreto.

Por lo general, en la mayoría de las estructuras antiguas de concreto reforzado han sufrido deterioros severos debido a estas causas, ya que el recubrimiento que tenían era de poco espesor y el concreto poroso, lo cual permitía que el agua tuviera un contacto fácil con el refuerzo y así se presentaba rápidamente la oxidación. Esto sucede con frecuencia en las áreas industriales o cercanas al mar, ya que la corrosión es más rápida y más severa, debido a que el aire tiene un alto contenido de sales o sulfuros.

Para reforzar estructuras de concreto, se aplican los mismos principios que para las estructuras de acero como son: la colocación del concreto lanzado adicional para la compresión y acero recubierto con concreto lanzado para la tensión.

Cuando una estructura de concreto reforzado se ha deteriorado por la corrosión en su acero de refuerzo, se necesita eliminar todo el concreto que muestre señales de descascaramiento a lo largo de la línea del refuerzo como pueden ser; las grietas finas, una decoloración y un sonido hueco cuando se golpea la superficie.

Si el acero expuesto de una estructura de concreto se encuentra poco dañado, solamente es necesario colocar una capa de concreto lanzado reforzado sobre el área para restaurar la estructura. En el caso de que la corrosión del acero sea grave, deberá ponerse acero adicional en la zona dañada para proporcionar longitudes de traslape en cada lado de la parte dañada.

Cuando la corrosión ha sido severa solamente en un tramo corto, deben examinarse todas las razones posibles acerca del ataque de la estructura.

En algunos casos es necesario colocar una cubierta adicional o usar cementos especiales, con el objeto de efectuar una reparación durable.

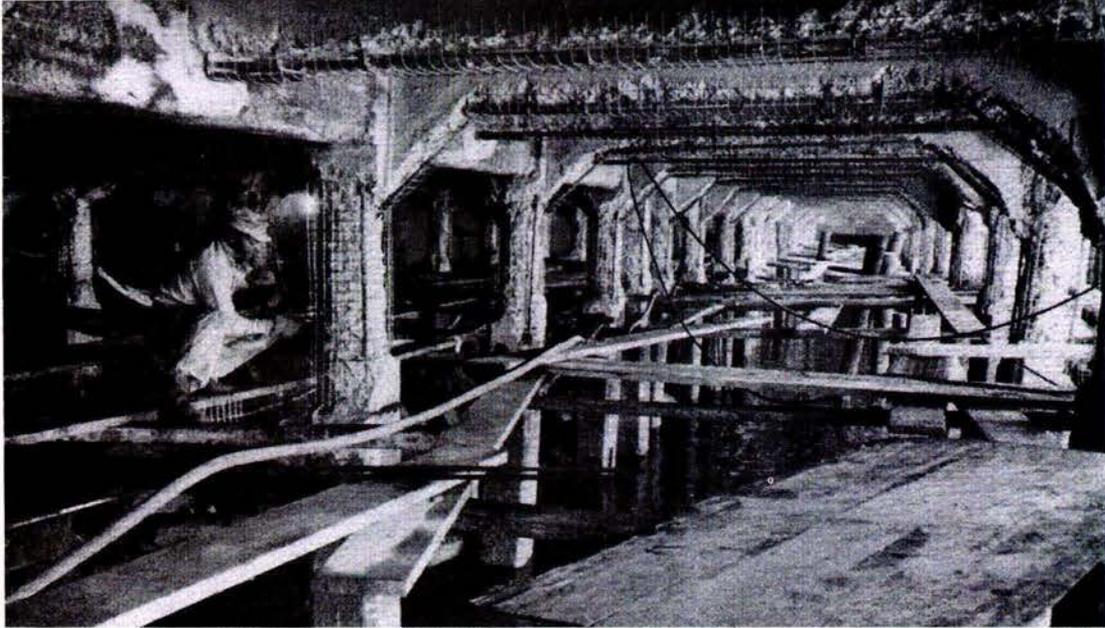


Figura IV.15 Estructura dañada en el acero de refuerzo por agua salada

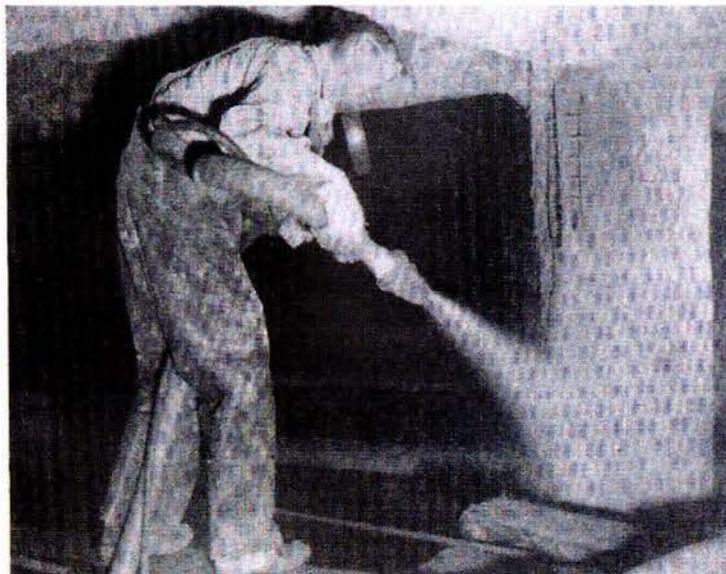


Figura IV.16 Aplicación del concreto lanzado

El concreto fresco también puede ser reparado con concreto lanzado, siempre y cuando en la construcción de concreto original se ha presentado alguna falla. Por ejemplo: los defectos (falta de material), donde se ha presentado la segregación del agregado, pueden eliminarse por cortes y reponerse con concreto lanzado con el fin de asegurar la resistencia de diseño en columnas, vigas, pisos, etc.

Otro de los casos es cuando la cimbra se ha deslizado o movido, las estructuras pueden repararse rápidamente y restaurarse estructuralmente con el empleo de las técnicas del concreto lanzado.

IV.2.4 Reparación del concreto dañado por el fuego

El concreto lanzado es un material excelente para las reparaciones de las estructuras de concreto dañadas por el fuego, lo cual el daño superficial ocasionado al concreto se presenta arriba de 300 °C originando una coloración rosada, el concreto se agrieta y se descascara hasta que se calcina; a temperaturas superiores a los 450 °C, el acero de refuerzo comienza a perder resistencia.

En un caso específico, se puede verificar que el concreto esté en posibilidades de trabajar (en compresión) y no haya sufrido daño de importancia, la reparación consiste en romper todas las zonas quemadas y picarlo hasta encontrar el material sano, que por lo general el material sano se encuentra aproximadamente por debajo de los 12 mm de la capa rosada, en algunas ocasiones antes de hacer la unión con el concreto lanzado para restaurar la forma de la estructura y el recubrimiento del acero; se puede añadir acero extra a la sección para compensar la pérdida posible.

Los daños más severos, manifestados por agrietamiento y descascaramiento de grandes áreas de concreto que se desprenden del acero de refuerzo, se pueden reparar cortándolas, pero añadiendo una cantidad considerablemente mayor de concreto lanzado, junto con el refuerzo integral enrollado alrededor y unido al elemento dañado.

Antes de cortar cualquier sección dañada, se tiene que apuntalar adecuadamente la estructura para impedir el riesgo de un colapso o una deflexión que se pueda presentar durante el trabajo.

Es necesario efectuar pruebas y cálculos cuidadosos para determinar la pérdida de resistencia de la sección original. El concreto lanzado se va a colocar después de tal manera que se equilibre la pérdida y se restaure la resistencia, aunque se altere un poco la forma de la sección original.

El concreto lanzado se puede emplear para efectuar un rápido apuntalamiento y un parchado temporal para la estabilización de áreas que tienen daños severos, inmediatamente posterior al incendio. La reparación de edificios de concreto dañados, mediante el concreto lanzado, es uno de los métodos más usados por su rapidez y por su efectividad.

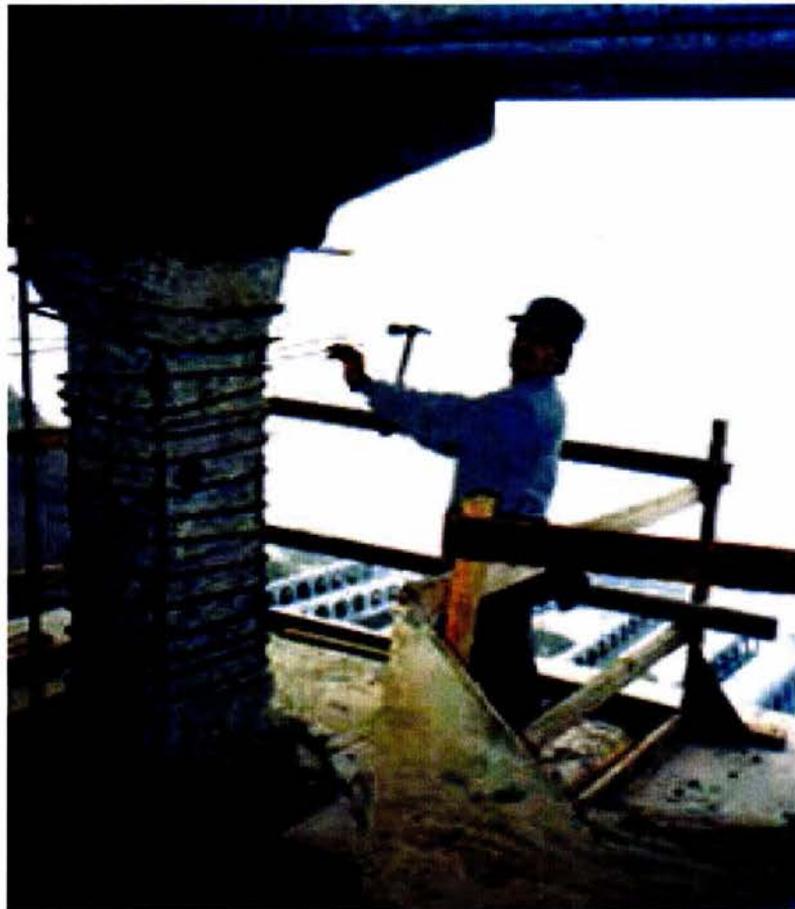


Figura IV.17

IV.3 CONCRETO LANZADO COMO SISTEMA DE REVESTIMIENTO

IV.3.1 Revestimiento de cables postensados

El revestimiento de cables es otra de las aplicaciones que tiene el concreto lanzado, el cual para el reforzamiento de estructuras consiste en unir alambres Freyssinet con concreto lanzado, los cuales se muestran en la siguiente figura.

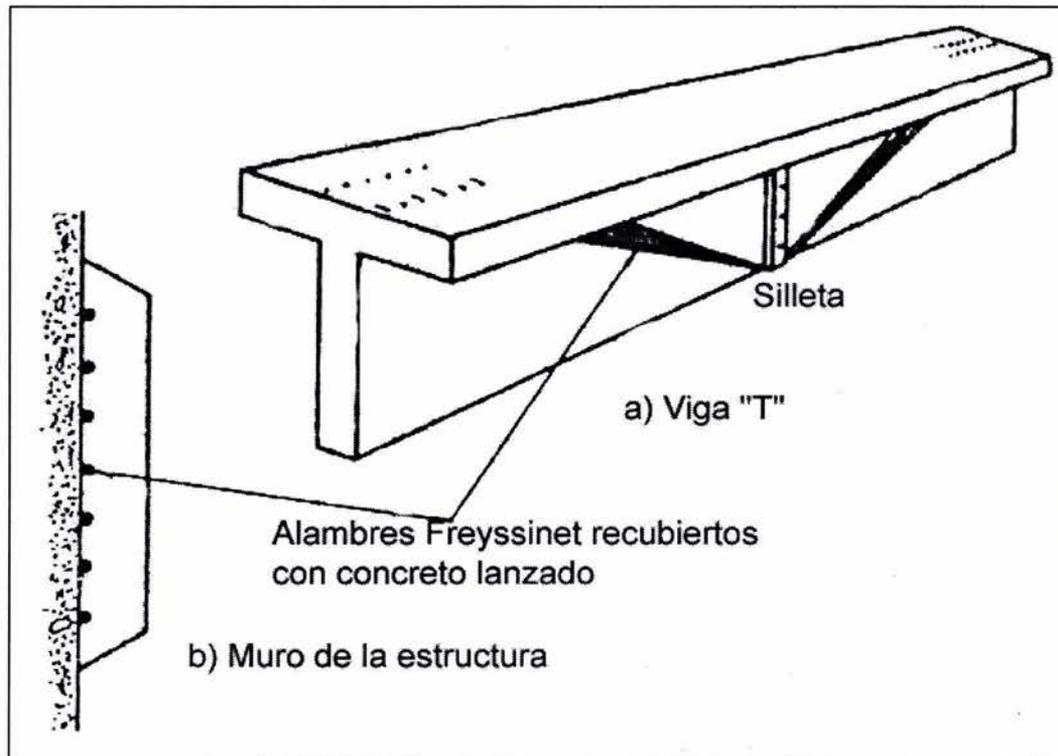


Figura IV.18

Esta aplicación también se utiliza en los Estados Unidos para la construcción de tanques de agua de concreto lanzado, con domos del mismo concreto los que tienen más de veinte años trabajando sin haber sido restaurados. El forro cilíndrico interior se coloca sobre formas y se presfuerza con alambres enrollados a él, posteriormente estos alambres son cubiertos por el exterior con otra capa de concreto lanzado. En la figura siguiente, se muestra un tanque de agua de concreto lanzado, que usa contrafuertes para el anclaje de los alambres.

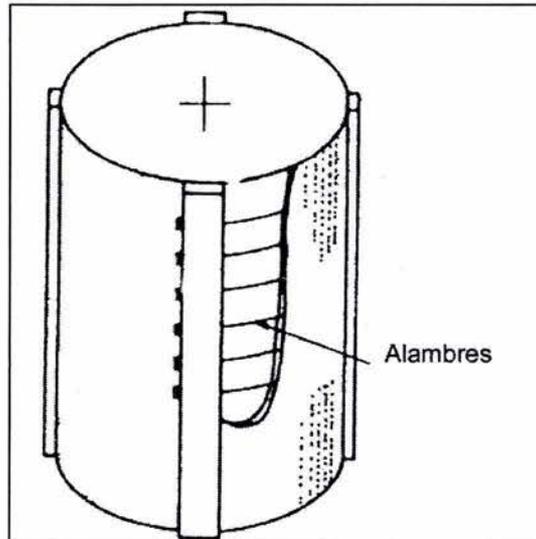


Figura IV.19

Por otra parte se hace notar que el concreto lanzado se emplea en unión con alambres y no con barras o torones, ya que los alambres pueden ser cubiertos con facilidad por el concreto lanzado siempre que estén debidamente espaciados.

Otros usos de esta técnica incluyen el postensado de chimeneas, voladizos y muros presforzados.

IV.3.2 Revestimiento de muros de pilotes

El concreto lanzado ha tenido un aumento en el uso con los muros de sostenimiento (muros de pilotes) que son colocados en perforaciones previas, como se muestran en seguida:

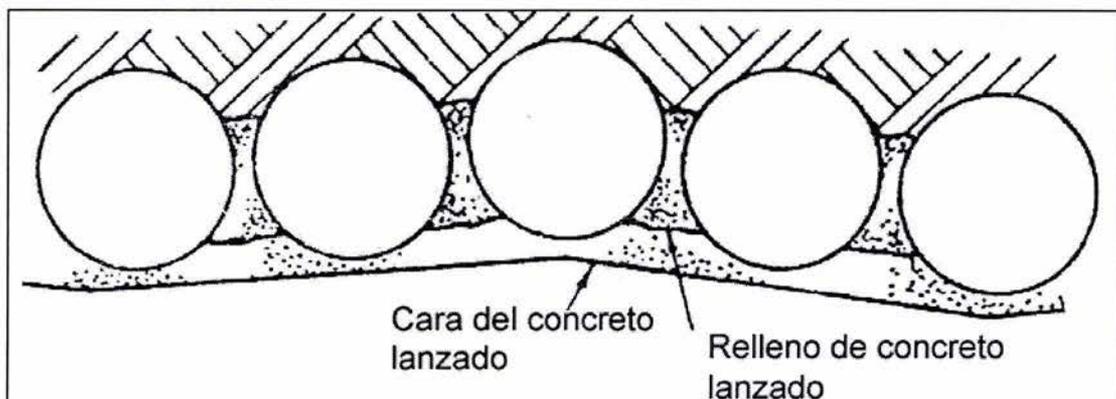


Figura IV.20 Muro de pilotes

En una cimentación, cuando las paredes se encuentran expuestas durante las excavaciones, estas se deben de limpiar y quitar todas las costras débiles de tierra, bentonita y concreto. Los muros son forrados y rellenados todos los huecos, con concreto lanzado y finalmente cubiertos completamente con una capa de concreto lanzado de unos 150 mm aproximadamente, para producir una superficie lisa, impermeable y durable.

IV.3.3 Revestimiento de canales

El concreto lanzado generalmente es utilizado para el revestimiento de canales, el cual proporciona una protección para evitar la erosión provocada por el agua en la superficie de dicho canal. Para la colocación del concreto lanzado en este tipo de trabajo no se requiere de un trabajo especial, solamente de la selección adecuada del cemento, como es el caso que comúnmente si el agua contiene una alta cantidad de sulfatos se deberá de utilizar un cemento tipo II, para la elaboración de la mezcla.

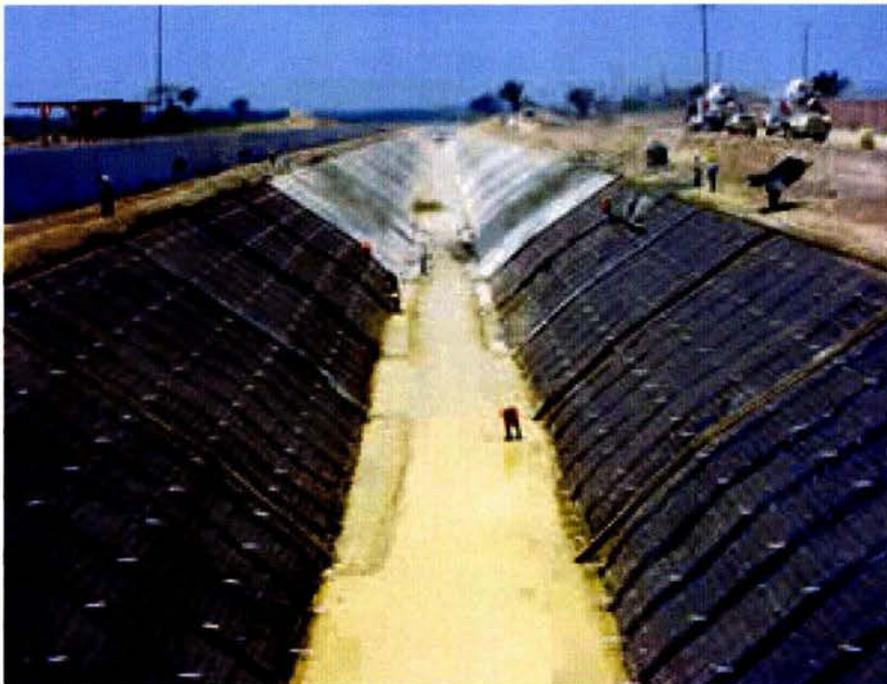


Figura IV.21

En el pasado se construyeron una gran cantidad de canales en los cuales se aplicó el concreto lanzado por vía seca, pero en la actualidad es utilizado el concreto lanzado de mezcla húmeda, debido a que tiene una mayor producción (m^3/hr) y no se necesita de un acabado especial en dicha superficie.



Figura IV.22

IV.3.4 Recubrimiento de tanques y albercas

El concreto lanzado de mezcla húmeda generalmente es utilizado para la construcción de tanques de agua, así como también para la reparación de los mismos mediante un recubrimiento de concreto lanzado, el espesor de dicho recubrimiento puede variar según se requiera para cada tipo de tanque, pero en la mayoría de las veces se emplean revestimientos delgados como protección para los tanques de agua.

Actualmente se está empleando el concreto lanzado para la construcción de albercas. En la mayoría de estas albercas se emplean varillas del # 4 como refuerzo y posteriormente se aplica el concreto lanzado en espesores del orden de 15 a 25 cm., en donde se presenta un mínimo de rebote y con una resistencia de compresión generalmente de 2500 psí. para este tipo de aplicación.

En la mayor parte de los Estados Unidos se está utilizando esta técnica del concreto lanzado ya sea por vía seca o húmeda para la construcción de las grandes albercas de los hoteles y residencias, proporcionando un método de construcción más rápido y económico que otro tipo de método.

Las siguientes imágenes nos muestran la construcción de albercas con concreto lanzado.



Figura IV.23



Figura IV.24

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

CAPÍTULO V

VENTAJAS SOBRE EL CONCRETO CONVENCIONAL

El concreto lanzado ofrece distintas ventajas sobre el concreto convencional en los diferentes tipos de trabajos de construcción y reparación, proporcionando a los ingenieros un método de construcción más rápido, económico y de mayor calidad estética.

V.1 CONCRETO LANZADO CON FIBRA

El concreto lanzado con fibras se desarrolló para la estabilización de taludes, rocas y túneles, pero posteriormente se encontró una aplicación en el área de reparación. El concreto tradicional, al igual que el concreto lanzado sin fibras, es un material frágil que no resiste los esfuerzos de tensión, por lo que presenta agrietamientos, y dentro de las principales causas se pueden mencionar las siguientes:

- Resistencia a la contracción por secado
- Contracción y expansiones por condiciones climáticas
- Deformaciones por cargas o asentamiento

Sin embargo, en la mayor parte de los trabajos de reparación con concreto lanzado, es necesario incorporar un refuerzo, como el acero que se emplea en los concretos tradicionales, la malla electrosoldada y actualmente, las fibras metálicas o sintéticas que forman un “refuerzo de tensión discontinuo”.

Las ventajas que adquiere el concreto lanzado con la adición de fibras es proporcionar al concreto propiedades especiales, las cuales van a depender de la cantidad y el tipo de fibra.

La razón principal de adicionar fibras, tanto al concreto como al concreto lanzado, es proporcionar ductilidad a un material frágil.

Entre los parámetros más importantes para describir el comportamiento del concreto lanzado con fibra son las siguientes:

- Relación entre la longitud y su diámetro equivalente (l/d)
- Resistencia a la tensión propia de la fibra
- Forma geométrica
- Volumen de fibra en el concreto

Por otra parte, a mayor relación l/d y mayor volumen de fibra en el concreto, mejor desempeño en cuanto a resistencia a la flexión, resistencia al impacto, ductilidad, resistencia al agrietamiento. Pero lamentablemente, a mayor relación l/d y mayor volumen de fibra, se presenta una mayor dificultad para mezclar, transportar y colocar el concreto.

Fibras metálicas

Cuando se adicionan fibras metálicas a la mezcla de concreto lanzado, al endurecerse ésta se obtiene un incremento de la ductilidad, de la capacidad de absorción de energía, de la resistencia al impacto y de la resistencia a la flexión, entre otras propiedades.

Al emplear fibra metálica no se debe causar ningún problema adicional; es preciso mantener la dosificación exacta de fibra, la calidad de las fibras debe garantizar el uso óptimo y el mejoramiento de la calidad final del concreto, y la pérdida de fibras por rebote tiene que mantenerse al mínimo, su dosificación está entre 30 y 60 kg /m³.

Una ventaja que ofrece el concreto lanzado con fibras metálicas es que, mientras la pasta de cemento mantenga su natural pH alcalino y permanezca libre de grietas, no sufrirá deterioro. La corrosión de algunas fibras sólo se presentará conforme avance la carbonatación de la superficie del concreto, pero, si esto sucede en un concreto lanzado de buena calidad, tardará varios años en penetrar unos pocos milímetros.

No obstante, si la corrosión no se permite por cuestiones estéticas, se puede aplicar como acabado una capa delgada de concreto lanzado simple.

Otra de las ventajas que ofrece este método es la eliminación del problema de las «sombras» (rebote atrapado atrás del acero de refuerzo que crea una zona débil) y oquedades, que en algunas ocasiones se presenta en trabajos de concreto lanzado con refuerzo. Por lo que, el concreto lanzado con fibras resulta más adecuado para efectuar este tipo de trabajos.

Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas se emplean actualmente en trabajos de reparación, realizados con la aplicación de concreto lanzado por vía húmeda. Se han utilizado principalmente las fibras de polipropileno, pero existen también otro tipo de fibras diferentes. Existen dos tipos de fibras:

- polifilamentos
- monofilamentos.

Las primeras sólo nos ayudan a edades tempranas, cuando el concreto está en estado fresco, se dosifican a razón de 1 a 6 kg/m³, principalmente para evitar el agrietamiento por contracción plástica, hacen más cohesivo el concreto y ayudan a mejorar el acabado, pero una vez endurecido el material, no aportan ningún refuerzo. Las segundas, las cuales son monofilamentos, se dosifican entre 8 y 14 kg /m³, soportan esfuerzos de carga/deformación y tienen una absorción de energía similar a las fibras metálicas.

Otra de las ventajas de estas fibras es que no sufren corrosión y mantienen su integridad en ambientes agresivos.

Las ventajas que presenta el concreto lanzado con fibras, se ha demostrado en un gran número de proyectos alrededor del mundo. Al recibir la adición de pequeñas cantidades de fibras, el concreto se enriquece con el incremento de algunas propiedades.

Cuando se aplica esta tecnología, el desempeño del concreto lanzado es igual o mejor que el refuerzo tradicional con malla, por lo que nos proporciona una variedad de ventajas tales como:

- a) Un incremento en la productividad, cuando se aplica el concreto lanzado con fibras como medio de soporte entre los ciclos de barrenación y voladura en los frentes de los túneles, que es generalmente la mitad del tiempo en comparación, cuando se utiliza el concreto lanzado con malla y anclaje.
- b) Una mayor seguridad, ya que el concreto lanzado y el refuerzo se pueden colocar simultáneamente en una aplicación por control remoto y nadie estará expuesto dentro de los terrenos inestables o parcialmente soportados para la instalación de una malla.
- c) El recubrimiento del túnel se aplica con un espesor más uniforme y con un contenido menor de concreto, debido a la cantidad adicional que se requiere para recubrir la malla.
- d) Cuando se coloca la malla, esta se encuentra a diferentes profundidades dentro del concreto y no siempre se localizará en la zona de tensión. Las fibras están distribuidas dentro de la capa de concreto lanzado, independientemente de donde ocurran los esfuerzos de tensión.
- e) Se evita el manejo, almacenamiento y colocación de la malla en las construcciones subterráneas

Estas ventajas, sólo se obtienen con la aplicación del concreto lanzado vía húmeda, debido a la falta de control y el alto grado de rebote de fibra que se presenta en la vía seca. El rebote típico de fibras metálicas, exclusivamente, es mayor que el 50% y el rebote de fibras sintéticas es similar o ligeramente mayor, en comparación con el rebote por la vía húmeda el cual varía entre un 10 a 15 %.

Dentro de las ventajas técnicas, podemos lograr un soporte instantáneo al terreno que está siendo excavado, ya que con un solo y rápido proceso colocamos el concreto y el soporte, adicionalmente, la adherencia entre el concreto con fibra y el terreno es mayor que cuando se usa malla, en algunas ocasiones la malla puede ser un obstáculo para que el concreto llegue al terreno, debido al rebote.

Cuando se le agrega al concreto fibras sintéticas o de acero en pequeños volúmenes, de acuerdo con una dosificación, se obtienen beneficios que no se encuentran en el concreto convencional. Las ventajas de las fibras de acero incluyen una mayor resistencia al impacto y mayor rigidez, así como el aumento de resistencia a la fatiga y al agrietamiento. Las ventajas de las fibras sintéticas comprenden una reducción en la contracción plástica y el agrietamiento por fraguado, y una mayor resistencia al impacto y a la fragmentación.

Estos beneficios se obtienen comúnmente utilizando aproximadamente de 6 a 15 kg de fibras de acero o de 0.5 a 1.0 kg de fibras sintéticas por metro cúbico de concreto.

Por otra parte, si los esfuerzos actuantes sobre el terreno ocasionan agrietamientos en el concreto, este no sufre desprendimientos repentinos que puedan atentar contra la seguridad, ya que con la fibra distribuida en toda la masa, el concreto queda amarrado soportando deformaciones aun después de haber sufrido el agrietamiento. El soporte de rocas está acompañado de riesgos constantes de cargas inesperadas y deformaciones. El mejor margen de seguridad posible se logra con una capa de concreto lanzado que tenga la más alta ductilidad posible.

Por lo general, las fibras vienen en una variedad de materiales, longitudes, diámetros y geometrías. Las formas de las fibras de acero pueden ser: redondas, ovaladas, rectangulares y con secciones transversales en forma de media luna. Las fibras sintéticas, están fabricadas generalmente de nylon o polipropileno, las cuales pueden ser angulares fibriladas o tener un solo filamento suave y redondo.

La adición de fibras metálicas ordinarias duplica la energía de rotura del concreto lanzado y en el caso de la adición de las nuevas fibras metálicas se alcanza un valor de energía de rotura que es de 50 a 200 veces mayor, que para términos prácticos, esto significa que con estas nuevas fibras, una capa de concreto lanzado puede agrietarse y deformarse y aún conservar una gran capacidad de carga, de manera que en circunstancias normales hay tiempo suficiente para poder observar las grietas o deformaciones y poder tomar medidas pertinentes.

La energía de rotura de las fibras metálicas es también mayor que la de las mallas electrosoldadas, lo cual ha sido comprobado en los estudios a gran escala realizados al principio de los años 80, por la Asociación de Investigación Técnica Noruega (NTN F).*

En la siguiente gráfica se muestra una comparación de esfuerzo -deformación que presenta la fibra metálica y una malla electrosoldada.

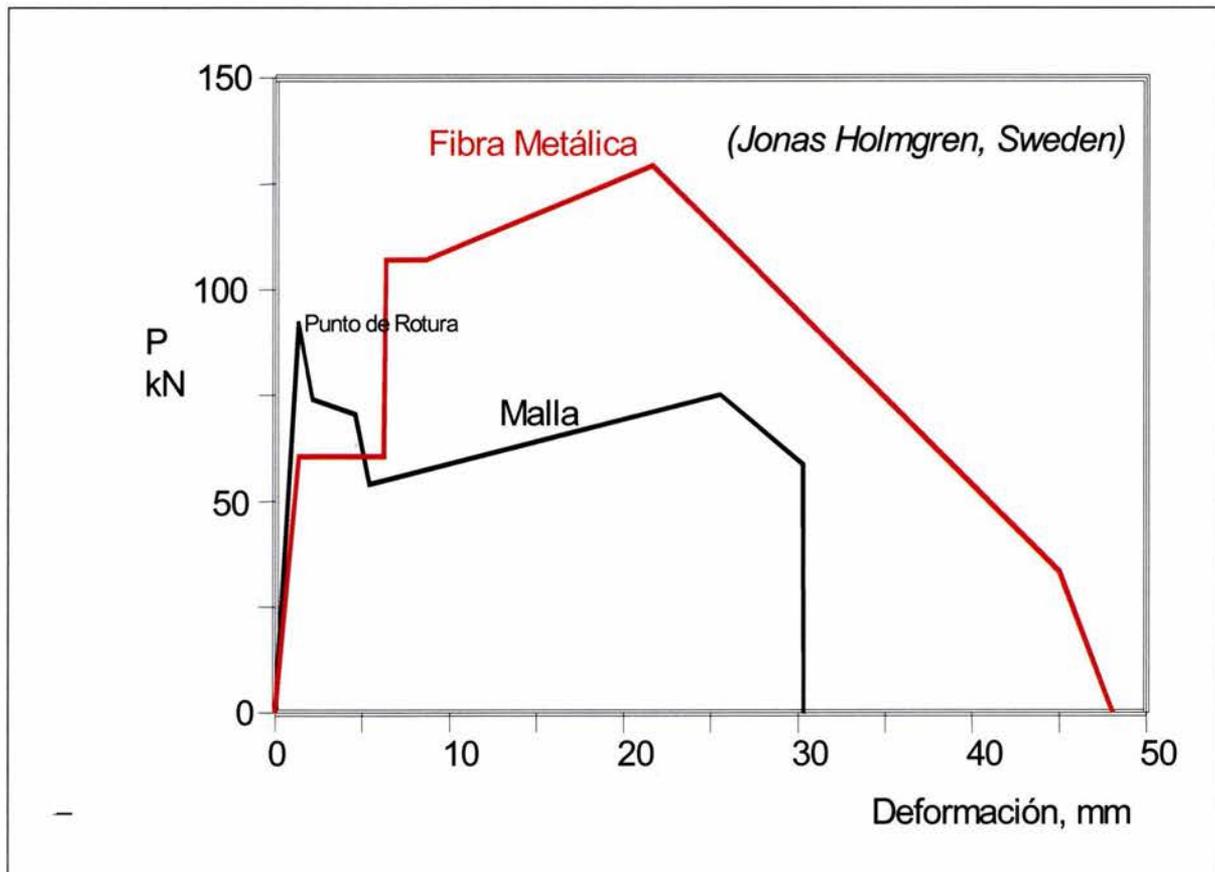


Figura V.1

En la siguiente prueba se simula un bloque cayendo sobre una capa de concreto lanzado de 10 cm.

1. Concreto lanzado con 1 % de fibras metálicas
2. Concreto lanzado con mallas electrosoldadas en el centro de la sección

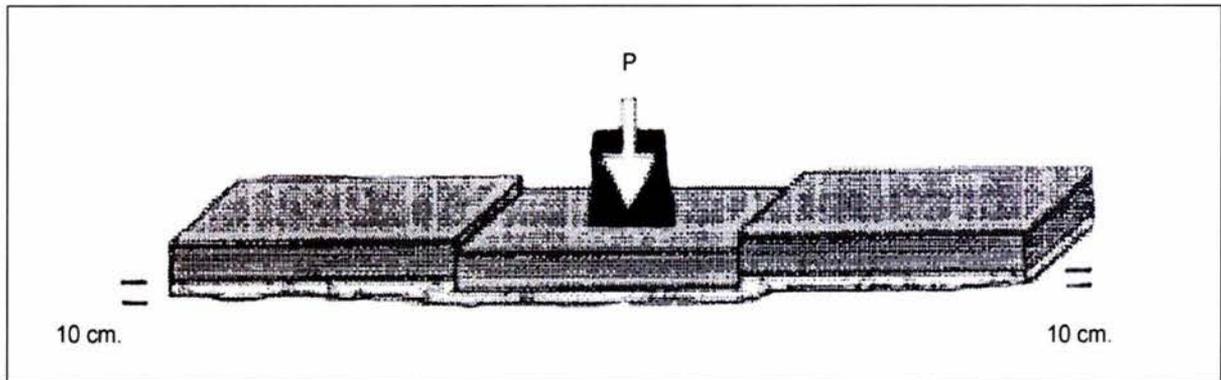


Figura V.2

Esta prueba demuestra que la energía de rotura del concreto lanzado reforzado con fibra metálica es mucho mayor que la del concreto lanzado reforzado con mallas tradicionales (electrosoldadas).

En teoría, el concreto lanzado reforzado con mallas electrosoldadas puede presentar resultados similares si la capa tiene un espesor mayor que 15 cm y el acero es de buena calidad. Sin embargo, la malla de alambre común se fabrica de alambres estirados en frío, por lo que esta malla tiende a romperse bajo deformaciones muy pequeñas, y por tanto es peligroso utilizarla ya que las aplicaciones de soporte de roca involucran grandes deformaciones.

Sin embargo, los refuerzos de alambre electrosoldado crean un problema de calidad para el concreto lanzado. El efecto de sombra puede producir vacíos detrás de las varillas, lo cual es un problema serio que a la larga ocasiona corrosión del refuerzo y fisuración del concreto, esto puede evitarse fácilmente utilizando el refuerzo de fibra metálica, el cual es un material que se combina muy bien con el concreto lanzado fabricado por vía húmeda y tiene un menor costo.

Tanto el concreto reforzado con fibras sintéticas como el reforzado con fibras de acero se pueden colocar empleando equipo convencional de colocación tal como canaletas de camión, bandas transportadoras y bombas. El equipo debe estar limpio y en buenas condiciones para asegurar que el concreto reforzado con fibras fluya fácilmente.

Si se agregan pequeños volúmenes de fibras sintéticas o de acero se reduce el revenimiento, haciendo que el concreto bien proporcionado parezca más rígido y menos trabajable. Aunque el concreto reforzado con fibras parezca más rígido, es relativamente fácil de colocar y consolidar.

V.2 RESISTENCIA

V.2.1 Resistencia de adherencia

La adherencia inicial que existe entre el concreto lanzado y el concreto es completamente mecánica, pero el endurecimiento presenta aspectos tanto mecánicos como químicos.

Si la superficie que recibe el concreto lanzado se encuentra limpia y áspera, el concreto lanzado se pegará como si fuera un lodo húmedo que es lanzado sobre una pared y debido al impacto se convierte en una masa densa, cohesiva, que penetra muy irregularmente en la superficie sobre la que se lanzó, así mismo permaneciendo en su lugar por los efectos combinados de cohesión, succión e intrusión. Estando una vez en su lugar, se produce una reacción química (endurecimiento) del cemento, siempre y cuando la superficie haya sido previamente humedecida antes de la aplicación.

Para los esfuerzos de seguridad de los diseños a través de las uniones entre el concreto lanzado y otros materiales son los siguientes:

- A la compresión: la mitad del valor más bajo de resistencia a la compresión que se muestre en las pruebas, ya sea del concreto lanzado o del concreto base; tabique o mampostería.
- Al cortante: $0.5N/mm^2$
- A la tensión: $0.5N/mm^2$

Existen algunas recomendaciones prácticas para ciertos materiales donde va a ser colocado el concreto, dentro de las principales se mencionan a continuación:

Concreto lanzado sobre madera. La adherencia que tiene el concreto lanzado sobre la madera es excelente, en caso de que se quiera evitar la adherencia a este material, es necesario cubrir la madera con papel o plástico.

Concreto lanzado sobre aluminio. Presenta una gran inconveniencia debido a la posible corrosión electrolítica.

Concreto lanzado sobre acero galvanizado. El concreto lanzado no se adhiere a los aceros que se encuentran recubiertos de zinc.

Concreto lanzado sobre tabique poroso. En este tipo de material se necesita un humedecimiento previo antes de colocar el concreto lanzado, para asegurar una adherencia óptima.

V.2.2 Resistencia al fuego

Con frecuencia el concreto lanzado se utiliza como una capa resistente al fuego. Tiene una resistencia al fuego muy superior a la del concreto ordinario, pero se deben de utilizar los valores normales de resistencia del concreto al fuego, los cuales son proporcionados por la norma CP 110.*

El uso del concreto lanzado como material anticombustible, se encuentra muy difundido especialmente en las plantas que se manejan productos químicos y refinerías de petróleo. Con frecuencia se emplean agregados ligeros en los trabajos que se requiere de un recubrimiento y protección contra incendios.

V.3 FLEXIBILIDAD EN LA APLICACIÓN

El concreto lanzado por vía húmeda ha demostrado en varias ocasiones que presenta una flexibilidad que pocos materiales de construcción puedan tener, como es el caso que se presenta en la mayoría de los puentes; el concreto original requería reparaciones adicionales mucho antes que el concreto lanzado.

* Referencia 1.

Por lo que, el concreto lanzado aplicado correctamente y curado, no necesita de una reparación tan rápida, debido a su larga duración para que tenga algún deterioro.

Una de las principales ventajas como método de soporte de túneles que tiene el concreto lanzado es su extrema flexibilidad, la cual le permite adaptarse a diferentes tipos de rocas y actuar como un recubrimiento final.

V.4 COSTO- BENEFICIO

El concreto lanzado es mucho más económico que el concreto convencional, debido a que necesita menos trabajo de cimbra, siendo que en algunos casos evita la colocación de cimbras y tiras de corte; permite el diseño de formas libres, presenta baja permeabilidad, alta resistencia, adhesividad y durabilidad, disminuye las grietas por temperatura, puede dársele cualquier acabado y coloración; su técnica permite el acceso a sitios difíciles (pueden alcanzarse hasta 300 m horizontales y 100 m verticales) y además, su empleo es ideal para estructuras de pared delgada y finalmente se pueden emplear aditivos para asegurar su impermeabilidad.

Es posible lograr sustanciales ahorros en el costo de cimbras, y ahorros adicionales que resultan del menor tiempo de construcción. Por ejemplo, los muros de cimientos por debajo de la rasante pueden ser típicamente contruidos a 70% del costo del concreto colado en la obra con un ahorro de tiempo promedio de 50%. Al usar el concreto lanzado para los muros, no se requiere necesariamente ninguna modificación en la colocación del acero de refuerzo, y el muro acabado puede rivalizar con todos los requisitos estructurales del concreto colado en la obra. Dependiendo de los requisitos de acabado del proyecto, el contratista de concreto lanzado puede aplicar un acabado de llana metálica para obtener una réplica casi exacta de un acabado de clase A, o un acabado menos costoso, usando una llana de hule. En muchos casos, un acabado con llana de hule es adecuado, e incrementa los ahorros totales del proceso del concreto lanzado.

Otro caso, es el revestimiento de un horno que se puede efectuar en un día con concreto lanzado refractario, comparándolo con otra alternativa, que consiste en colocar bloques refractarios, lo cual tardaría una semana o mayor tiempo. Por lo que en este caso, el incremento en el costo va a ser despreciable comparándolo con otras soluciones.

Por otra parte, en los grandes trabajos de construcción, entre mayor es la mecanización, más bajo es el costo. Utilizando una dosificación mecánica, mezclado, alimentación, etc., la mano de obra en algunos tipos de trabajos grandes se puede reducir en tres; el lanzador y el operador de la lanzadora, los cuales son atendidos por un ayudante, resultando así que el costo por área unitaria en grandes trabajos y espesores por lo general es menor que el costo de aplicar espesores más pequeños que en los trabajos menores.

Cuando las áreas son rectas, su costo va a ser mucho menor que las áreas equivalentes que estén interrumpidas por aristas, ángulos, esquinas, vueltas, etc.

Un ingeniero calificado, con conocimientos y experiencia debe decidir donde y como puede usarse este tipo de sistema.

CONCLUSIONES

El concreto es un elemento principal que se ha empleado en la construcción durante muchos años, por lo que su tecnología ha tenido un gran desarrollo en la actualidad. Sin embargo, tanto en su fabricación como en su colocación se encuentra sujeto a variables técnicas, de diseño, climáticas, entre otras; por lo que es necesario contar con el material y el equipo adecuados para que faciliten su uso y contribuyan al mejoramiento de su calidad. Como es en el caso de los aditivos para concreto, los cuales ya son imprescindibles en cualquier tipo de obra y los cuales van mejorando con el desarrollo de nuevos productos por parte de los fabricantes, con el fin de ofrecer soluciones que respondan a los requerimientos o especificaciones para cada tipo de obra.

El concreto lanzado no puede compararse directamente con el concreto colado convencionalmente, en ciertos aspectos, esto se debe a la naturaleza de su composición y a su función estructural, aunque con respecto a su resistencia no se presenta ningún problema, ya que se puede obtener cualquier resistencia que se requiera en la obra o en el proyecto.

Con respecto al control de calidad para los trabajos realizados con concreto lanzado por vía seca, se pueden presentar pequeñas imperfecciones, tales como; algunos vacíos, pequeñas cantidades de material de rebote atrapado y la visibilidad de las líneas de aplicación, por lo que se debe de aceptar generalmente dicho trabajo, debido al rendimiento que va a tener a largo plazo para dicha aplicación estructural.

Por otra parte, hay que reconocer las limitaciones prácticas o desventajas del concreto lanzado para ciertas aplicaciones estructurales. Más sin embargo, se ha demostrado en este trabajo cómo el concreto lanzado puede emplearse como una alternativa de solución para la construcción, refuerzo y reparación de estructuras, siendo un método más rápido y económico que el método tradicional.

Cuando seleccionamos el concreto lanzado para una reparación, es necesario tomar en cuenta el conocimiento y la experiencia existentes, así como también efectuar un análisis de los materiales y de las necesidades de la obra, ya que para obtener un buen resultado, es preciso tener una adecuada planeación, supervisión y un control de calidad.

Durante los últimos años la tecnología del concreto lanzado se ha ido desarrollando, siendo uno de los resultados comúnmente conocido en el mercado: el concreto lanzado con fibras.

Estas fibras mejoran ciertas propiedades del concreto lanzado, especialmente su capacidad de trabajo, es decir su capacidad de soportar ciertos esfuerzos después de su ruptura, mayor resistencia al impacto y absorción de energía, por lo que ha aumentado el uso del concreto lanzado en las diversas obras de ingeniería civil.

BIBLIOGRAFÍA

1. IMCYC (Instituto Mexicano del concreto y cemento), "Manual para la Reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto", México, 1997.
2. Warner, James, " Understanding Shotcrete- It's Applications" , Vol. 17, No. 6, Estados Unidos, 1995.
3. SMMR (Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C.), "Empleo del Concreto Lanzado", México, Curso 2001.
4. David F. Dorsch, "Concrete Repair Digest" Canadá, 1998.
5. Hassani F., "Sistemas de Soporte", 364 CICM, pp 32- 38, 1999.
6. Moira H., Harding, "Mezcla, Colocación y Acabado del Concreto Reforzado con Fibra", ACI, Michigan, 1993.
7. Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete, ASTM C 1116-91, ASTM, West Conshohocken, 1991.
8. Balogh A., "Synthetic Fibers", Concrete Construction, pp. 525-530, 1992.
9. ACI 506.1R-98, "Committee Report on Fiber Reinforced Shotcrete", Estados Unidos, 1998.
10. ACI 506.2-95, "Specification for Shotcrete", Estados Unidos, 1995.
11. Kumar Mehta P., "Avances en la Tecnología del Concreto", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2001.
12. Mehta, P.K. y P.J.M. Monteiro, "Concrete: Microstructure, Properties and Materials", McGraw-Hill College Custom Series, 1996.
13. Raúl Bracamontes J., "Nuevos Horizontes para el Concreto Lanzado", Sika, México, 2003.
14. Warner, James, "Understanding Shotcrete –Finishing, Curing, and Quality Control", *Concrete International*, vol. 17, núm. 8, pp. 72-75, 1995.

REFERENCIAS

1. Ryan T.F., "Concreto Lanzado" , México, Limusa, 1997.
2. American Concrete Institute, "Guide to shotcrete", Estados Unidos, ACI 506 R90, 1999.
3. Warner, James, " Understanding Shotcrete- It's Applications" , Vol. 17, No. 6, Estados Unidos, 1995.
4. SMMR (Sociedad Mexicana de Mecánica de Rocas, A.C.), "Empleo del Concreto Lanzado", México, Curso 2001