



Líderes en
Innovación y
Transferencia
Tecnológica



23 de Junio de 2020



HORMIGONES PROYECTADOS (SHOTCRETE)

Ms. Ing. Rogerio Venancio

GCP Applied Technologies
Gerente de Servicios Técnicos LATAM

CURSO **WEB**

DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN PROYECTADO

Es un HORMIGÓN lanzado a través de un manguera neumática con alta velocidad, para alcanzar una elevada compacidad



Lanzamiento manual



Lanzamiento robotizado

HISTÓRICO DEL HORMIGÓN PROYECTADO

- ✓ 1907 - Carl Ethan Akeley - primera máquina de hormigón proyectado Via Seca – US
- ✓ 1920 - “Gunite” nombre que pertenencia a la compañía “Cement Gun Company” primera mortero proyectado por pistola vía seca
- ✓ 1930 - nasce el nombre “Shotcrete” por “American Railway Engineering Association”
- ✓ 1940 - inicia el uso de piedra de 10 mm – Europa
- ✓ 1955 - inicia el proceso vía húmida
- ✓ 1966 - ACI – Adopta el nombre Shotcrete para todas aplicaciones relacionadas
- ✓ 1971 - US inicia el uso de fibras
- ✓ 1977 - Inicio el uso en gran escala – Europa / US



TIPOS DE HORMIGÓN PROYECTADO

Vía Seca

- ✓ Cemento y agregados son pre mezclados
- ✓ Agua introducida bajo presión en la punta de la manguera
- ✓ El lanzador (nozzleman / pitonero) determina la cantidad de agua
- ✓ Difícil controlar relación agua/cemento



TIPOS DE HORMIGÓN PROYECTADO

Vía Húmeda

- ✓ Cemento, agregados y agua son pre mezclados
- ✓ Mejor control de la relación agua/cemento
- ✓ Acelerantes generalmente en forma líquida



TIPOS DE HORMIGÓN PROYECTADO

Vía Seca x Vía Húmeda

Ítem	Vía húmeda	Vía seca
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo de mantenimiento Mayor costo inicial 	<ul style="list-style-type: none"> Alto costo de mantenimiento Menor costo inicial
Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> Mezcla exacta en planta por lotes Puede utilizar concreto premezclado Acepta agregados húmedos 	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento afectado por humedad del agregado, limitado a 6% Menor productividad
Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> Moderada a alta tasa de colocación, de 3 a 10 m³/hora con equipos robotizados 	<ul style="list-style-type: none"> Baja tasa de colocación usualmente de 1 a 6 m³/hora
Rebote	<ul style="list-style-type: none"> Bajo rebote (típico de 5% a 15%) dependiendo de la mezcla diseño y aplicación 	<ul style="list-style-type: none"> Generalmente alto rebote (sobre 30% y hasta 60%) dependiendo de condiciones del lugar y aplicación
Polución	<ul style="list-style-type: none"> Baja generación de polución en el lugar de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> Polución notablemente alta
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> Mayor control y más constante 	<ul style="list-style-type: none"> Potencialmente mayor variación en el loca de trabajo
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> Cortas distancias de transporte (hasta 200 m), dependiendo de condiciones, equipos y mezclas 	<ul style="list-style-type: none"> Mayores distancias de transporte (hasta 500 m)
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> Se adapta mejor a altos volúmenes 	<ul style="list-style-type: none"> Se adapta mejor a bajos volúmenes Adecuado en lugares de acceso remoto o limitado o cuando la entrega del hormigón proyectado es lógicamente compleja

PRINCIPALES APLICACIONES

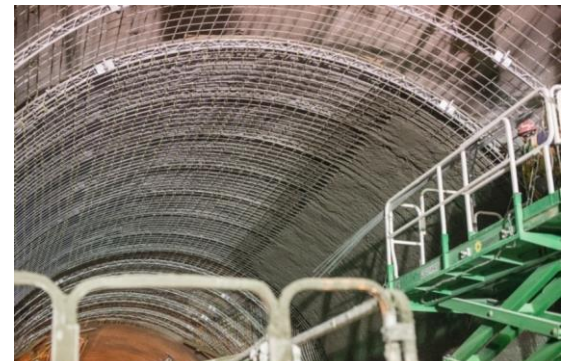
- ✓ Principalmente usados en minería, túneles, soporte temporario o final (a depender de las condiciones del suelo)
- ✓ Estabilización de taludes
- ✓ Piscinas
- ✓ Reservorios
- ✓ Reparación o rehabilitación de estructuras de hormigón (puentes o presas)
- ✓ Estructuras decorativas



Suporte inicial



Rehabilitación



Suporte final

HORMIGÓN PROYECTADO X HORMIGÓN CONVENCIONAL

Características principales

- ✓ No requiere vibración (su consolidación es lograda a través de la alta velocidad de lanzamiento neumático)
- ✓ Acelerantes utilizados en hormigones proyectados son completamente diferentes de los acelerantes convencional: asentamiento de 9" (22 cm) puede caer para 0 en segundos.
- ✓ Generalmente contiene baja relación agua/cemento
- ✓ Su composición puede tener solamente arena
- ✓ Tamaño máximo de agregado es de 9,5 mm



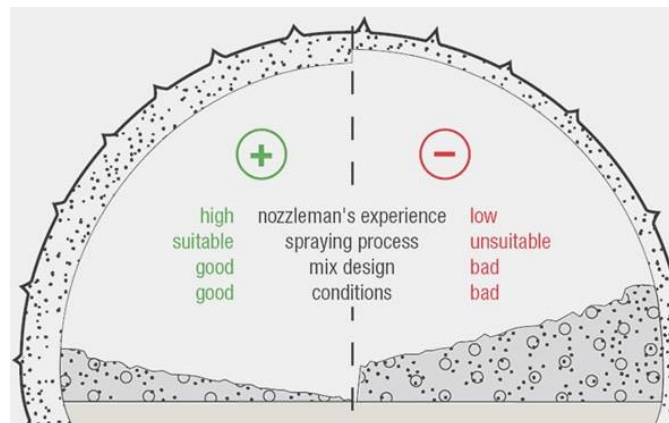
HORMIGÓN PROYECTADO X HORMIGÓN CONVENCIONAL

Ventajas

- ✓ No necesita cimbras (encofrados)
- ✓ Permite gran variedad y creatividad de diseños
- ✓ Flexibilidad de aplicación donde el camión no logra llegar
- ✓ Alta resistencia temprana
- ✓ Aumenta seguridad en aplicaciones subterráneas

Desventajas

- ✓ Rebote (entre 4 hasta 5%, inevitable)
- ✓ Mayor posibilidad de contracción debido alto contenido de cemento

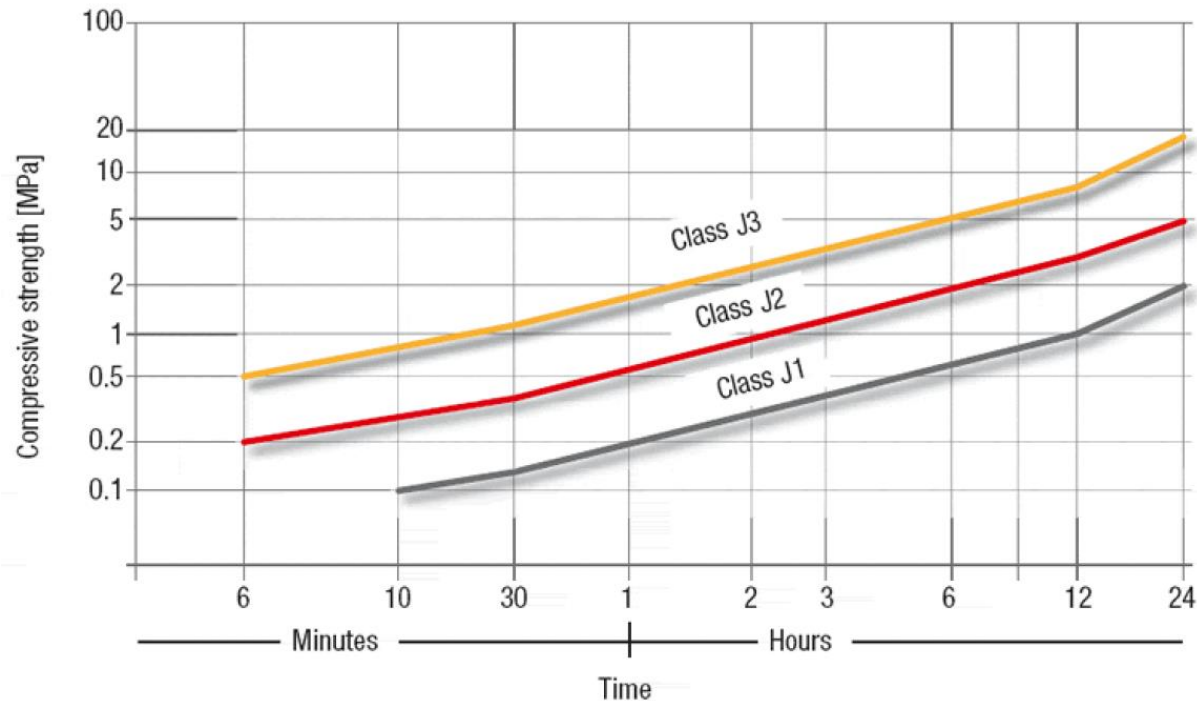


ESPECIFICACIONES TÍPICAS – VÍA HÚMEDA

Requerimientos típicos para el hormigón proyectado			
Propiedad	Método de ensayo	Edad	Limites
Relación a/cm	-	-	0,40 a 0,45
Contenido de aire			
Antes del lanzado (%)	ASTM C231 / CSA A23.2 – 4C / IRAM 1602-2	-	7 a 10
Después del lanzado (%)	ASTM C231 / CSA A23.2 – 4C / IRAM 1602-2	-	3 a 5
Factor de espaciamento (μm)	ASTM C457	-	0,012 (300)
Asentamiento (mm)	ASTM C 143 / CSA A23.2 – 5C / IRAM 1536	-	170 \pm 20
Resistencia a compresión (MPa)	ASTM C 1604 / CSA A23.2 – 14 C / IRAM 1896	Reentrada 8 horas 1 día 3 días 7 días 28 días	2,0 5,5 8 15 30 40
Resistencia a flexión (MPa)	ASTM C1018 ASTM C78	7 días	4 a 4,5
Mínima absorción de energía (Joules)	EFNARC ASTM C 1550 ASTM C 1609	7 días	700 J 320 J Nivel III
Máximo absorción de agua hervida (%)	ASTM C 642	7	8
Máximo volumen de vacíos (%)			17
Temperatura ideal ($^{\circ}\text{C}$)	-	-	10 a 30

ESPECIFICACIONES TÍPICAS – VÍA HÚMEDA

Curva J

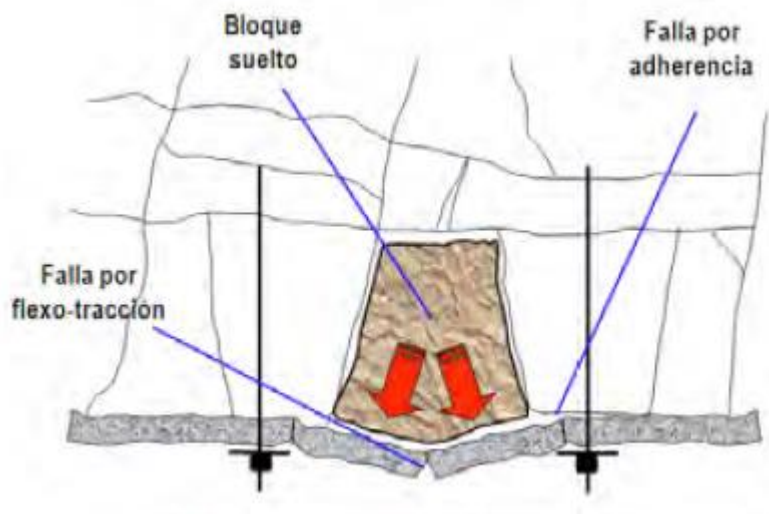


- ✓ Las primeras horas son críticas en minería / túnel de operaciones para re-entrada
- ✓ Hormigón proyectado necesita lograr rápidamente las resistencias tempranas

DESARROLLO DE DISEÑO - VÍA HÚMIDA

Criterios para definición del diseño de mezcla

- ✓ Condiciones subterráneas de campo
- ✓ Equipamientos y técnicas de aplicación
- ✓ Relación agua/cemento (resistencias y durabilidad)
- ✓ Uso de aditivos e adiciones (desempeño, durabilidad y ahorros)
- ✓ Ajuste de la curva granulométrica (rebote)
- ✓ Efectos de congelación y deshielo



MATERIALES TÍPICOS UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Cemento

- ✓ Cemento ASTM C 150 Tipo I/II (CPN según IRAM 50000): Mínimo 400 kg/m³
- ✓ Micro sílice (NA): 5 a 8%
- ✓ Ceniza: 5 a 25%
- ✓ Escoria (principalmente en Australia): 20 a 40%
- ✓ Metakaolín: 5 a 10%

Agregados

- ✓ Tamaño máximo del agregado: 9,5 mm
- ✓ Para disminuir rebote: ideal que el % grava esté por debajo de 30%
- ✓ Típica proporción agregado fino: > 65% en función de la granulometría y las condiciones de trabajo

Agua

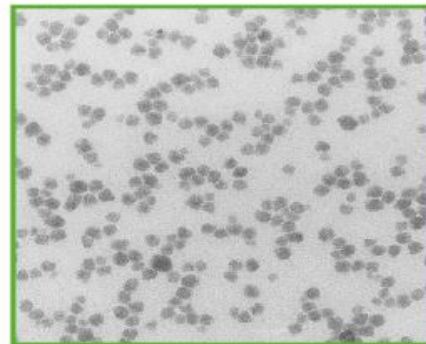
- ✓ Cumplir con los requerimientos de ASTM C1602 (IRAM 1601), limpia y libre de sustancias nocivas



MATERIALES TÍPICOS UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Aditivos – (ASTM C494/ASTM C260/ASTM C1141/IRAM 1663)

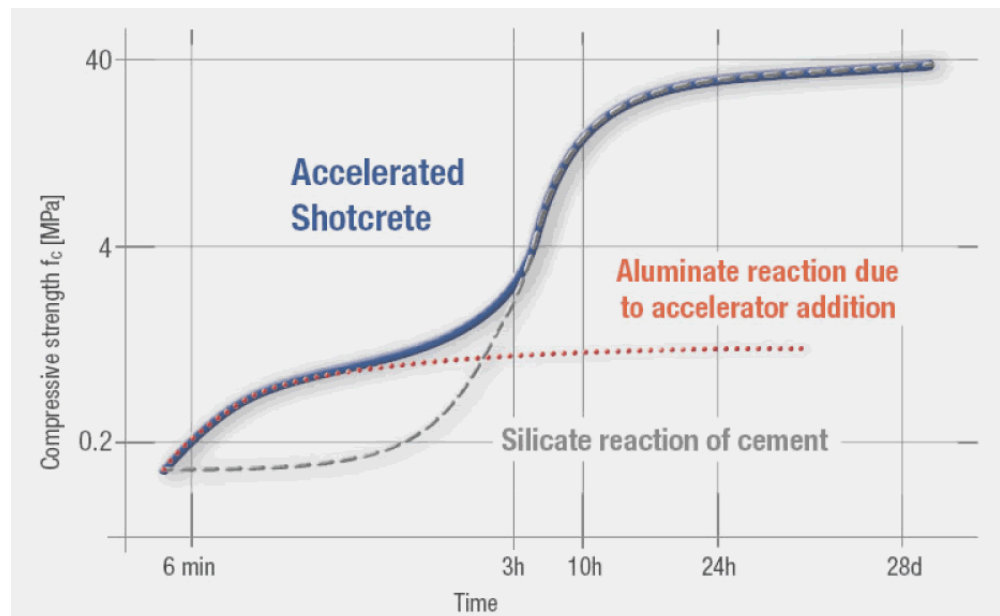
- ✓ Acelerantes de fraguado
- ✓ Reductores de agua
- ✓ Reductores de agua de alto rango
- ✓ Controladores de hidratación
- ✓ Inclusores de aire
- ✓ Nano Sílice (Aumento de la cohesión y resistencias iniciales)
- ✓ Fibras



ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Acelerantes de fraguado

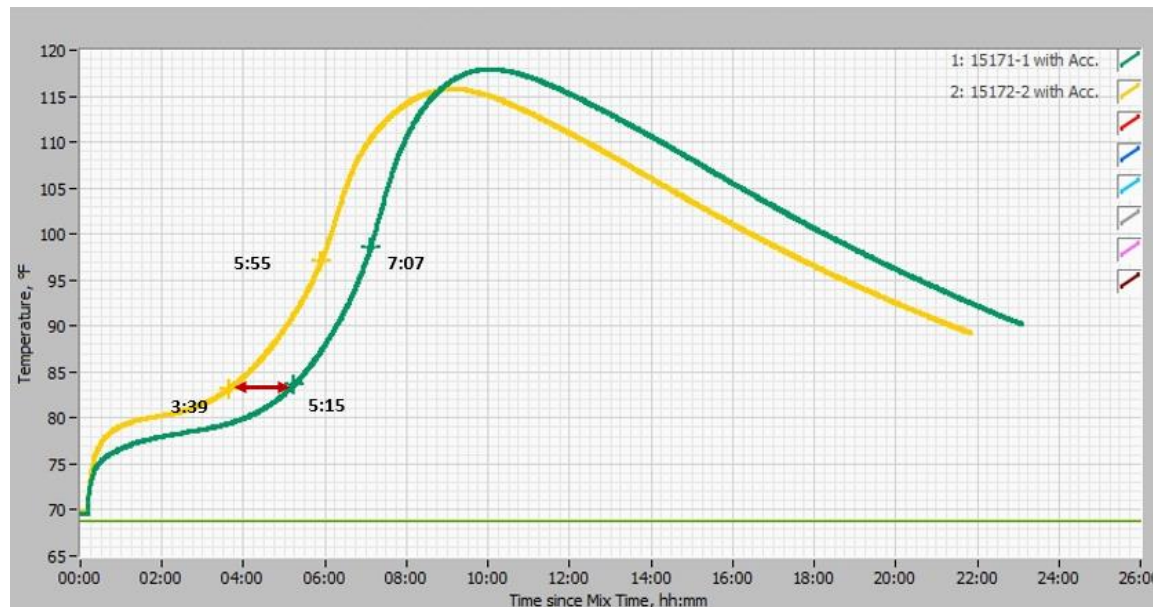
- ✓ Reducir el inicio de fraguado y tiempo de re-inicio de las actividades
- ✓ Incrementar resistencias tempranas
- ✓ Disminuir rebote y desplazamiento
- ✓ Aumentar el espesor de capa
- ✓ Disminuir riegos de desprendimiento del sustrato



ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

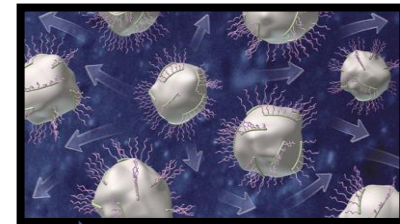
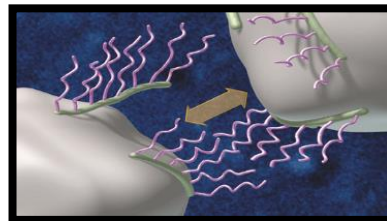
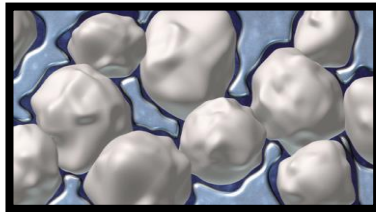
Nano Sílice

- ✓ Aditivo Puzolánico Líquido que mejora resistencias iniciales (horas)
- ✓ Mejora el lanzado y la cohesión de la mezcla
- ✓ Disminuye rebote y polvo
- ✓ Ayuda a disminuir tiempos de ciclo
- ✓ Seguro de utilizar y almacenar
- ✓ Calidad más consistente



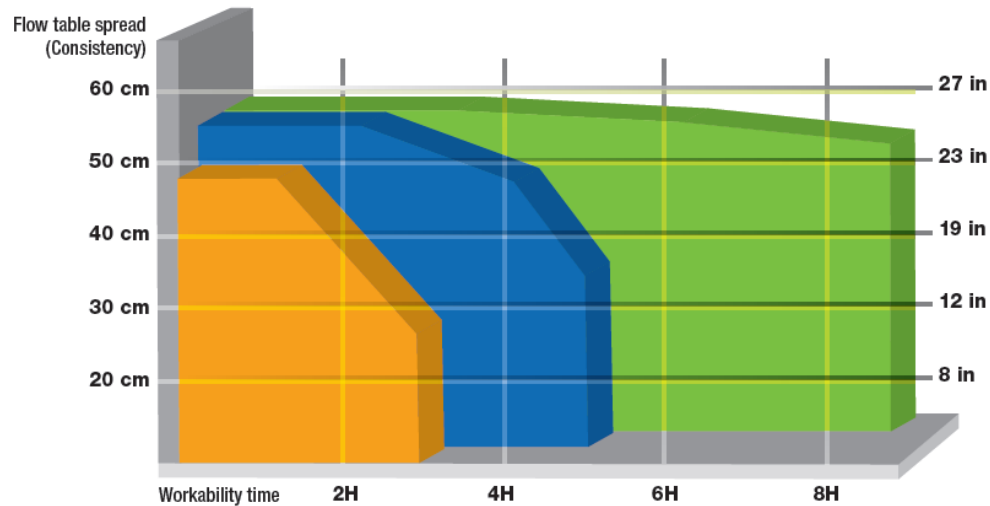
ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Reductores de agua / Reductores de agua de alto rango

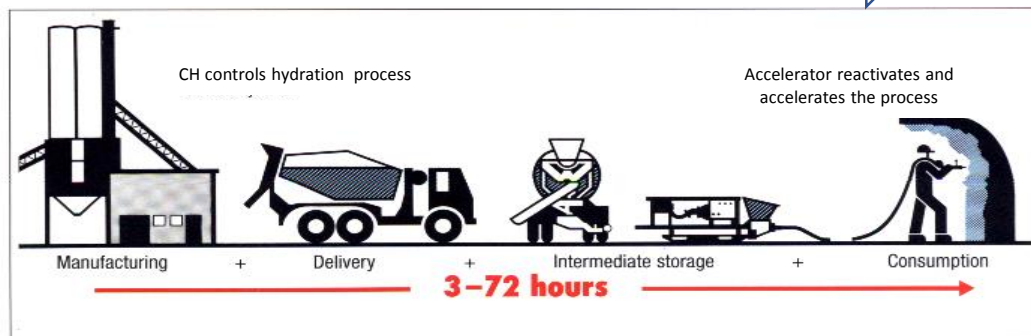


ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Controlador de hidratación - CH



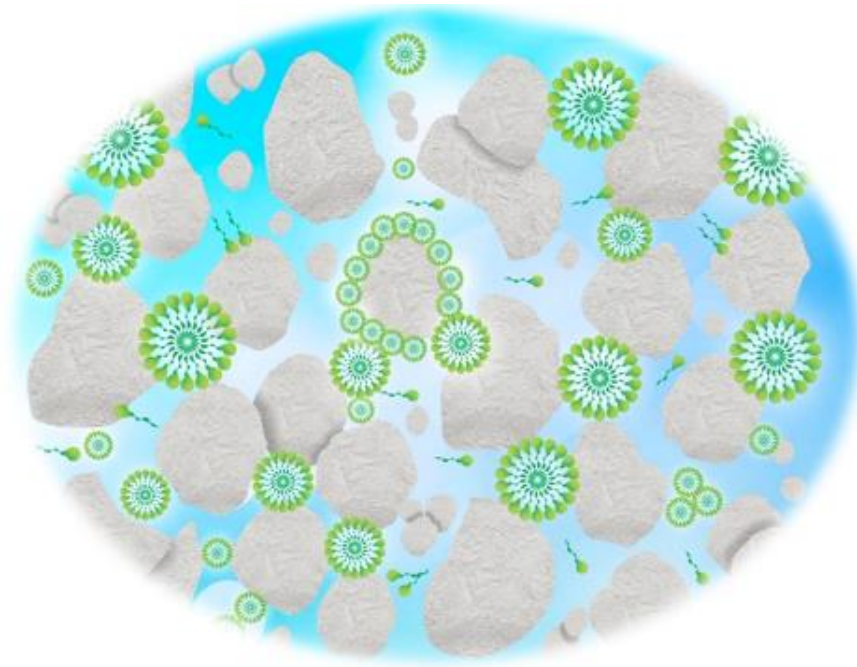
Incremento de dosis del aditivo - CH



ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Inclusores de aire

- ✓ Producen una cantidad controlada de burbujas microscópicas de aire y uniformemente dispersas entre las partículas
- ✓ Aumenta la durabilidad del concreto (efecto de congelación y deshielo)

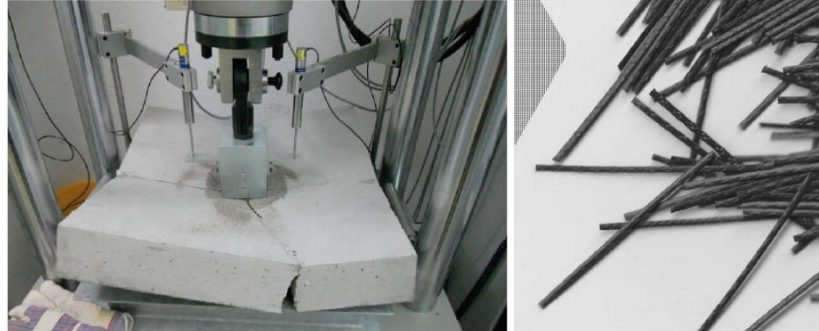


ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Fibras: tipos

- ✓ Fibras de acero (estructural) – ASTM A820 & ASTM C1116 Tipo I
- ✓ Macro fibras sintéticas – (estructural) – ASTM C1116 M – Tipo III
- ✓ Micro fibras sintéticas – (Controle de fisuras por retracción plástica y resistencia al fuego) – ASTM C 1116 Tipo III

Macro fibras son utilizadas para incrementar resistencias residuales o absorción de energía

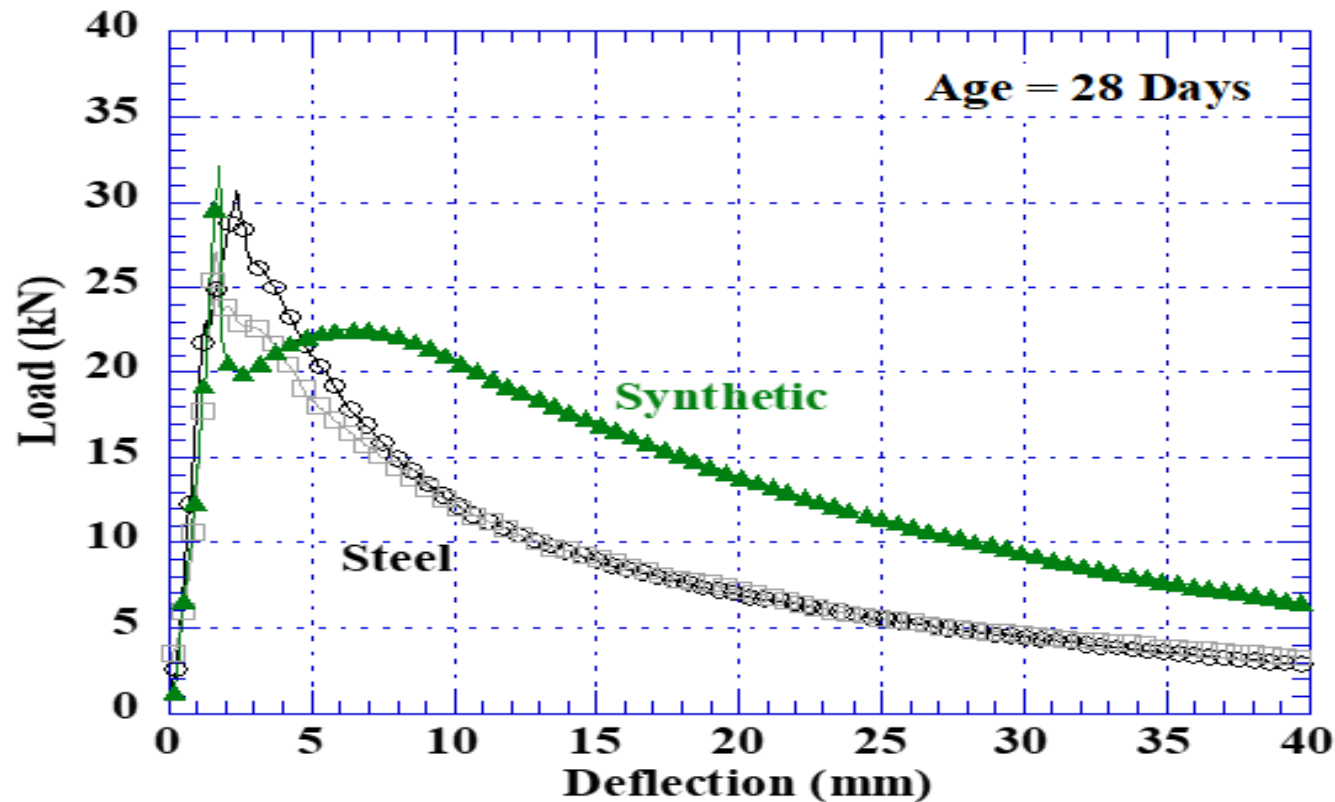


Minería: Panel – ASTM C1550 muy aceptado

Túneles: Prisma – ASTM C1609 predominantemente usado

ADITIVOS/ADICIONES UTILIZADOS – VÍA HÚMEDA

Fibras tipos – Resistencia Residual / Tenacidad



OPTIMIZACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN PROYECTADO

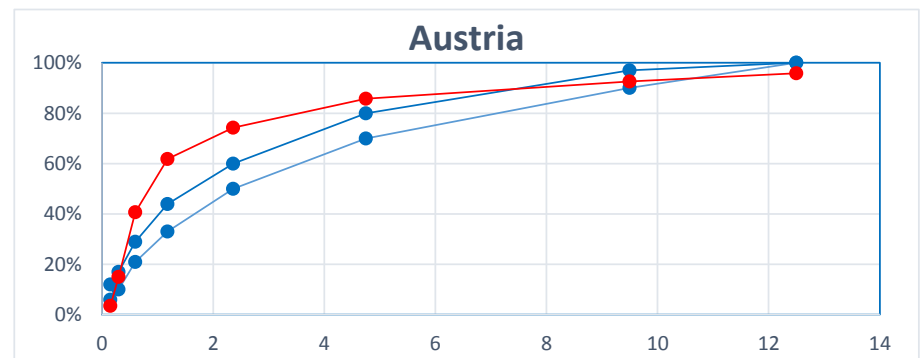
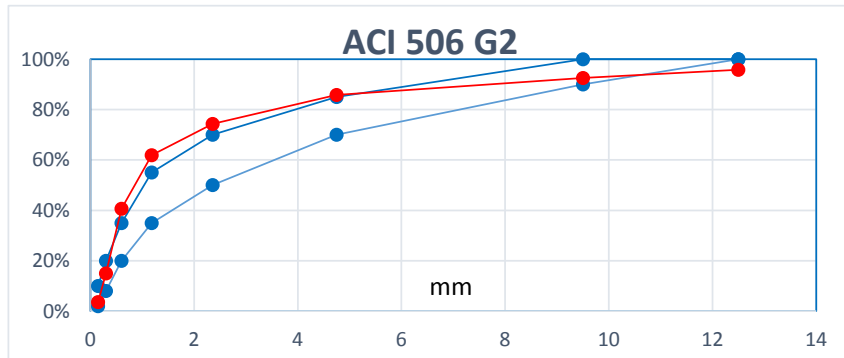
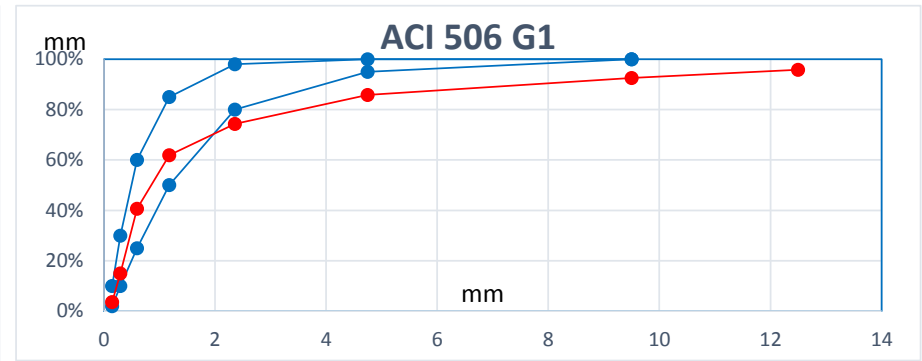
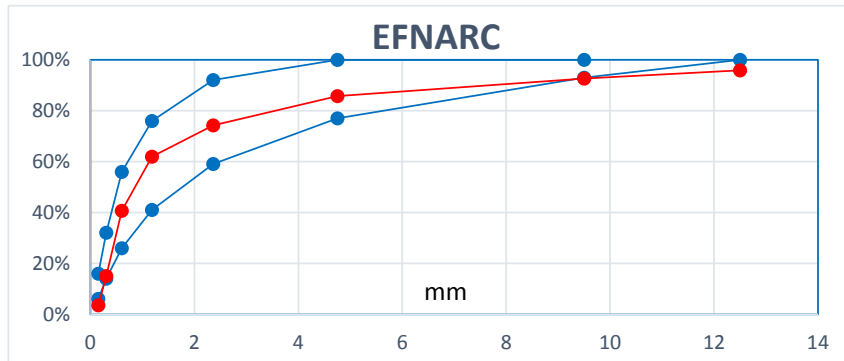
Diseño típico y parámetros de referencia

Material	kg/m ³	% en el diseño	Parametros	Diseño	Referencia
Cemento	440		Asentamiento (mm)	220	> 170
Arena Guesa	1450	88,4%	Relación a/c	0,45	0,40 a 0,45
Grava 9,5 mm	190	11,6%	% de arena	88,4	> 65
Agua	200		% de grava	11,6	< 30
Aditivo Reductor de agua	3,52	0,8%	% agua	10	10 a 12
Aditivo Acelerador	22,00	5,0%	% Aire	4	5 a 8
Aditivo Nano-Silice	0,44	1,0%			
Macro fibras sintética	5,0				

Tamiz (mm)	Arena Guesa		Grava 9,5 mm		Granilometria Combinada
	% individual	% combinada	% individual	% combinada	
12,50	100,0	88,4	64,0	7,4	95,8
9,50	100,0	88,4	36,0	4,2	92,6
4,75	97,0	85,8	0,0	0,0	85,8
2,36	84,0	74,3	0,0	0,0	74,3
1,18	70,0	61,9	0,0	0,0	61,9
0,60	46,0	40,7	0,0	0,0	40,7
0,30	17,0	15,0	0,0	0,0	15,0
0,15	4,0	3,5	0,0	0,0	3,5
<0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

OPTIMIZACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN PROYECTADO

Gráficas de las granulometrías combinadas



CONTROL DE LA CALIDAD EN OBRA

Limitación del ensayo de asentamiento

- ✓ El asentamiento es muy simple para definir el comportamiento reológico del hormigón proyectado
- ✓ Es posible tener dos mezclas con exactamente el mismo valor de asentamiento, pero con propiedades reológicas completamente distintas.



- ✓ Comportamiento reológico: Viscosidad, tensión estática, tensión dinámica, segregación etc.

CONTROL DE LA CALIDAD EN OBRA

Propiedades reológicas del hormigón proyectado

- ✓ Capacidad de pegado: adherencia a la superficie del sustrato que permite mayor espesor de capa
- ✓ Cohesividad: auto-adhesión para resistir contra la segregación de la mezcla
- ✓ Viscosidad: esencial para resistir al resbale en paredes verticales
- ✓ Bombeabilidad: es la estabilidad y movilidad de una mezcla bajo presión
- ✓ Pulverización: eficiencia de una mezcla para adherirse a la superficie y a sí misma (cohesión).



CONTROL DE LA CALIDAD EN OBRA

Hormigón proyectado “pegajoso” mejora:

- ✓ Espesor de capa
- ✓ Seguridad
- ✓ Productividad
- ✓ Eficiencia de costo



Necesidad de estandarizar el procedimiento de forma global para espesor de capa

La cohesión es el mecanismo de falla en la mayoría de los casos

CONTROL DE LA CALIDAD EN OBRA

Aire incorporado

- ✓ Puede afectar la cohesión de la mezcla
- ✓ Importante para garantizar la durabilidad de hormigón (congelación y deshielo)
- ✓ El valor del aire baja después de la proyección del hormigón debido la alta presión



CONTROL DE LA CALIDAD EN OBRA

Control de las resistencias



Penetrómetro – EN 14488-2



Clavos

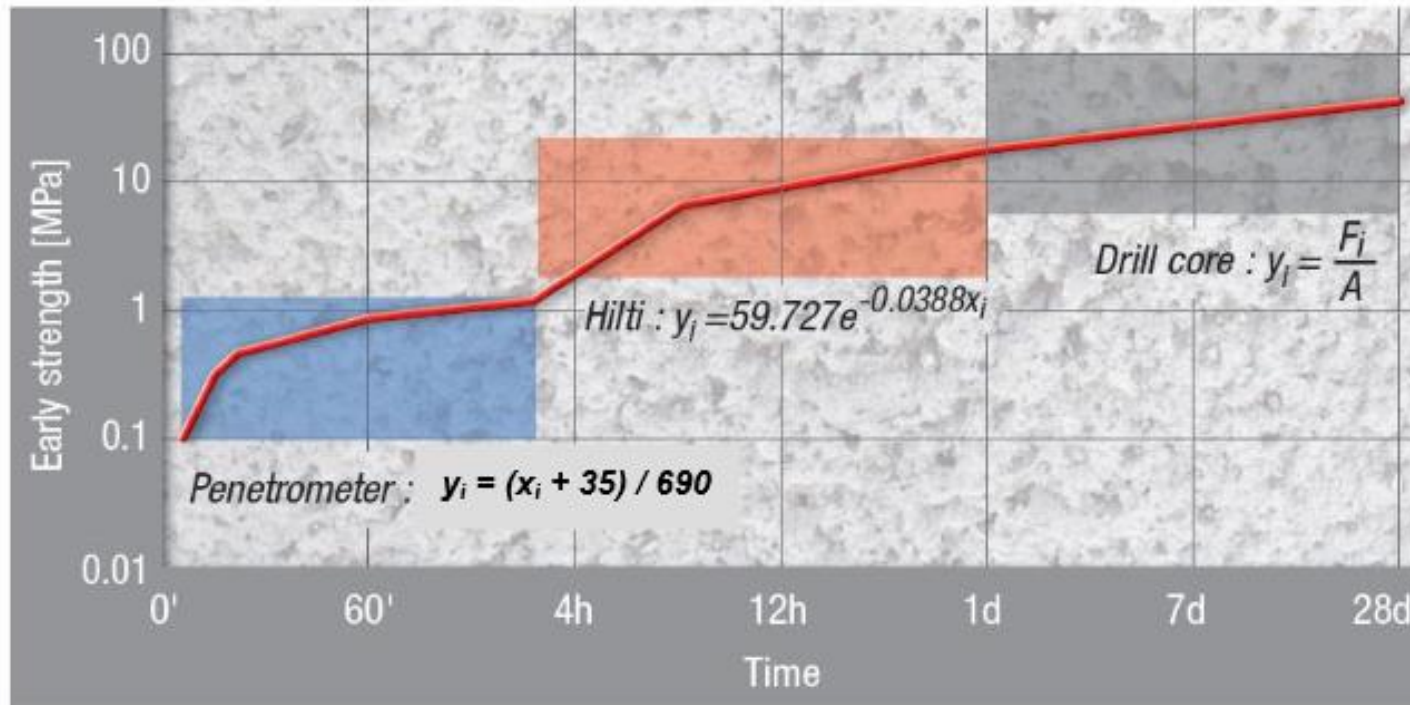


Proyección en artesas/extractora/prensa



CONTROLE DE LA CALIDAD EN OBRA

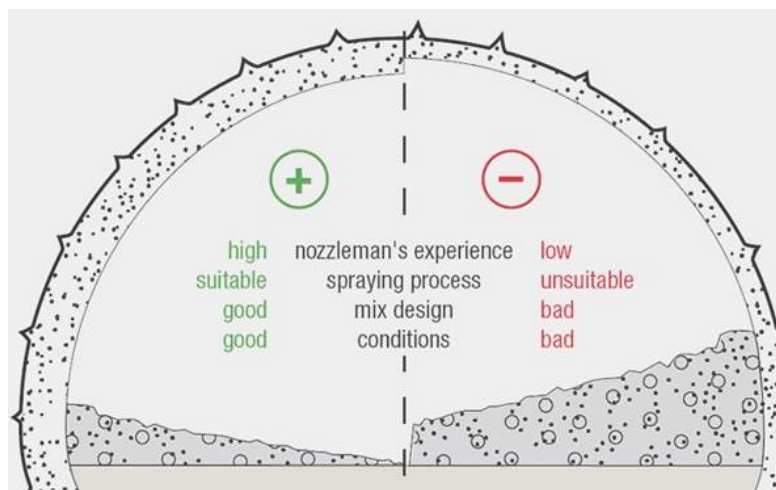
Control de las resistencias



Etapa	Método	Equipo	Resistencia	Tiempo
Resistencia inicial	Aguja	Penetrometro	0,1 a 1,5 MPa	0 a 3 horas
Resistencia temprana	Clavos	Hilti DX 450 - SCT	3 a 20 MPa	3 a 24 horas
Resistencia final	Núcleos	Extractor/Prensa	5 a 100 MPa	Arriba de 1 día

APLICACIONES Y PRINCIPALES DESAFÍOS

Rebote: Las partículas más grandes se separan de la mezcla después de golpear la superficie a altas velocidades.



- ✓ Dirección de pulverización (arriba, abajo, horizontalmente)
- ✓ Unidad de pulverización (presión de aire, boquilla, salida)
- ✓ Condición del sustrato (uniformidad, adherencia)
- ✓ Grosor de la capa

Valores típicos de rebote (%)	Vía seca	Vía húmeda
Superficies horizontales	5 – 15	0 – 5
Superficies verticales	10 – 30	5 – 10
Techo o bóveda	25 - 50	10 – 20

APLICACIONES Y PRINCIPALES DESAFÍOS

Lanzamiento en la perpendicular



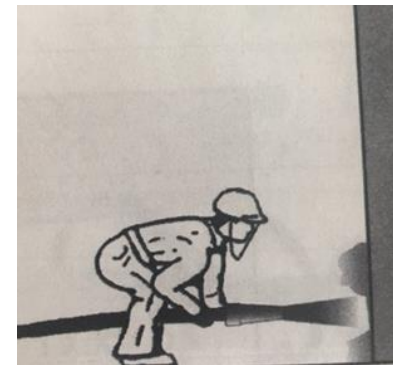
ok



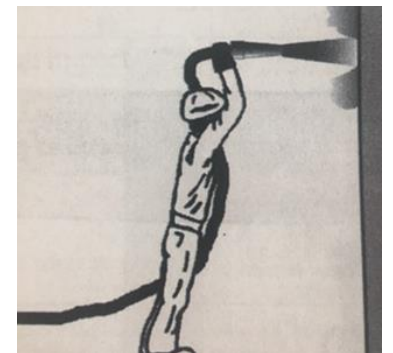
(Bracamontes, R)



ok



ok



ok

APLICACIONES Y PRINCIPALES DESAFÍOS

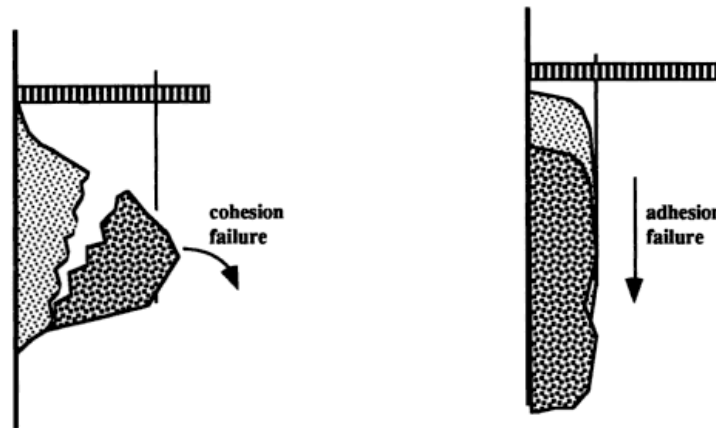
Formación de polvo



- ✓ Proceso de pulverización
- ✓ Humedad de los agregados
- ✓ Tipo y dosis de aceleradores de fraguado
- ✓ Parámetro en la boquilla

APLICACIONES Y PRINCIPALES DESAFÍOS

Quedas/Resbale

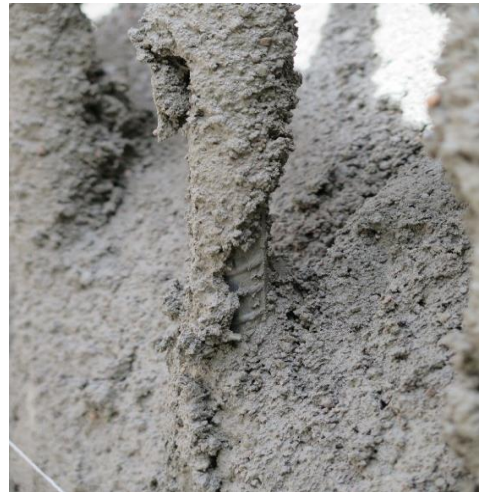


- ✓ Ajustar la capacidad de pegado del hormigón
- ✓ Mejorar cohesión: autoadhesión para resistir contra la segregación de la mezcla
- ✓ Aumentar viscosidad: esencial para resistir al resbale en paredes verticales
- ✓ Evaluar presencia de agua en el sustrato
- ✓ Evaluar cantidad y eficiencia del aditivo acelerante

APLICACIONES Y PRINCIPALES DESAFÍOS

Sobras

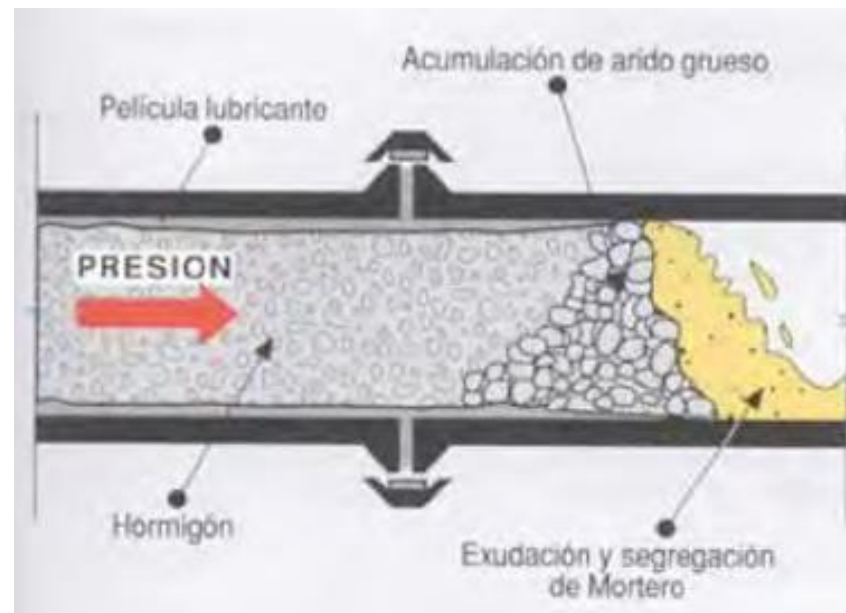
- ✓ Mezclas con falta de cohesión y no suficientemente fluidas, se producirán vacíos detrás del refuerzo
- ✓ Importante que las mezclas tengan una alta cohesión, ya que son menos propensas a la segregación bajo presión



APLICACIONES Y PRINCIPALES DESAFÍOS

Taponamiento de la tubería de bombeo

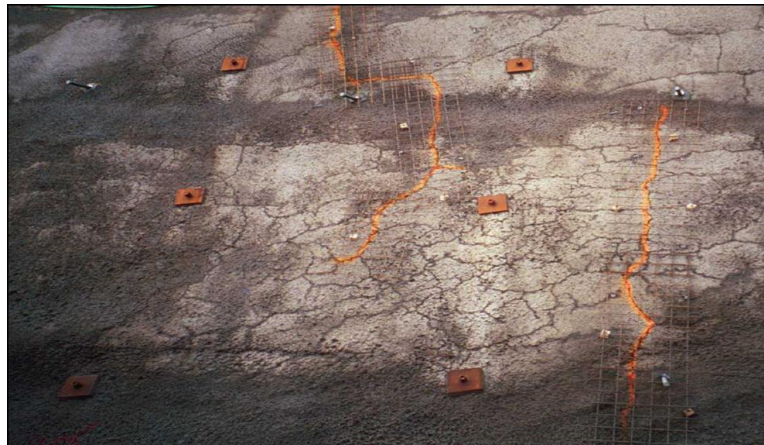
- ✓ Mezclas con falta de cohesión y no suficientemente fluidas
- ✓ Ajustar la mezcla del hormigón, evaluar contenido de finos, cantidad de gravas etc..
- ✓ Proceso de bombeo y película lubricante de las tuberías



CURADO

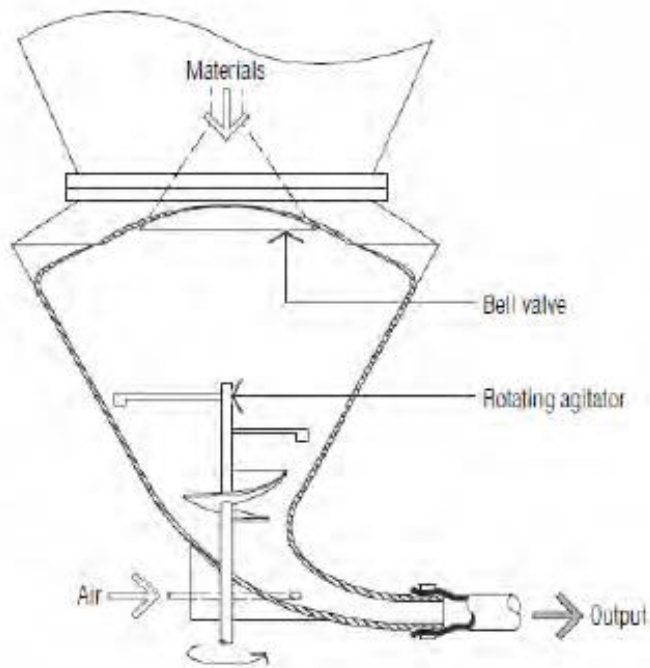
Parámetros de los valores versus datos de referencia

- ✓ Membrana de curado, una cubierta, o aspersión con agua
- ✓ La nebulización tan pronto finalice el lanzamiento
- ✓ Aspersión de agua después del fraguado.
- ✓ Curar al menos 3 días, o hasta que se aplique una capa posterior del hormigón proyectado
- ✓ Mantener temperatura interna superior a 5 °C hasta que se alcance la resistencia a la compresión especificada.



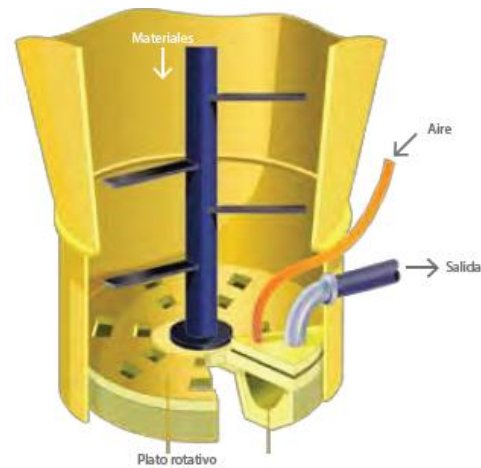
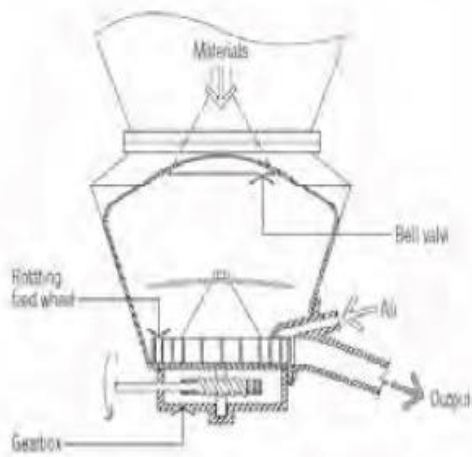
PRINCIPALES EQUIPOS PARA PROYECCIÓN

Vía Seca – Cámara simples



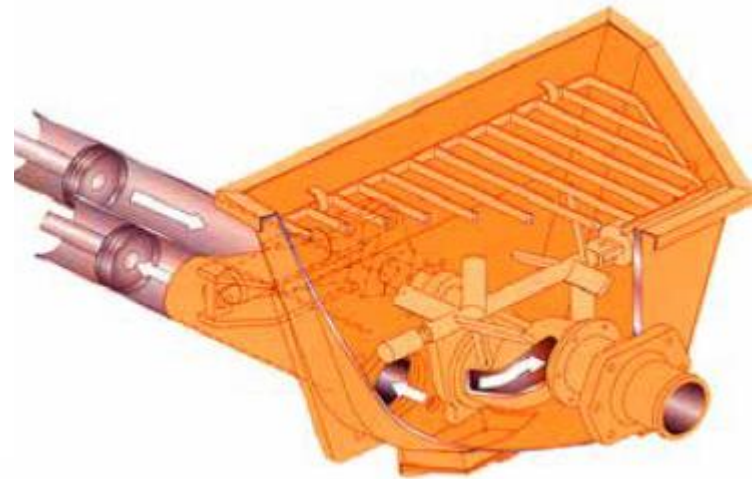
PRINCIPALES EQUIPOS PARA PROYECCIÓN

Vía Seca - Rotatoria



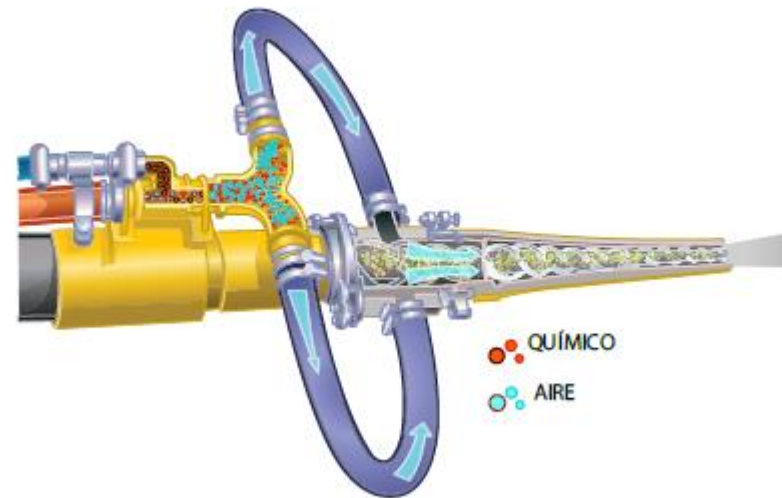
PRINCIPALES EQUIPOS PARA PROYECCIÓN

Vía Húmeda - Robotizado



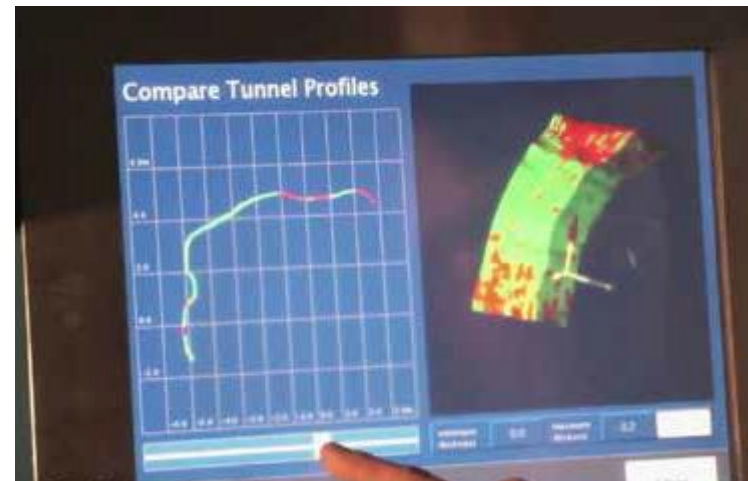
PRINCIPALES EQUIPOS PARA PROYECCIÓN

Tipos de puntas



PRINCIPALES EQUIPOS PARA PROYECCIÓN

Otros equipos



CURSO **WEB**

MUCHAS GRACIAS

HORMIGONES PROYECTADOS (SHOTCRETE)

Ms. Ing. Rogerio Venancio
Rogerio.Venancio@gcpat.com



Líderes en
Innovación y
Transferencia
Tecnológica

