

# **DURABILIDAD**

## **Hormigon Proyectado**



**Akaiwa tunnel (Japan)**



**Ing. Maria I. Garade**  
**MAPEI Argentina**

[m.garade@utt.mapei.com](mailto:m.garade@utt.mapei.com)

**1. INTRODUCCIÓN**

**2. HORMIGON PROYECTADO. DEFINICIÓN**

**3. DURABILIDAD**

**4. DISEÑO DE MEZCLA. Componentes**

# 1. Introduccion

Requerimientos de durabilidad de 50 a 100 años

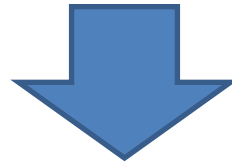
Control de Calidad en edades desde 7 a 28 días y  
ocasionalmente 90 días.

H° Proyectado ejecutado con diferentes equipos, aditivos,  
cementos e infinidad de factores entre la especificación y la  
medición de resultados

# 1. Introduccion

## PROYECTOS UNICOS

Muchos condicionantes particulares



**HORMIGON PROYECTADO  
MEDIO PARA HACERLOS REALIDAD**



**DUEÑO; INGENIERIA; CONSTRUCTORA,  
CONTRATISTAS y PROVEEDORES  
Trabajando en equipo**

## Bolhão station-Portugal



# Akaiwa tunnel (Japan)



## Hydro-electric power plant, Massaniga



# Cancano power plant



# Cancano power plant



## Chievo hydraulic channel



# Alptransit Bodio-Schweiz



# Alptransit Monte Ceneri-Switzerland



# Dusseldorf Germany



# Trojane Tunnel-Slovenia



# Condiciones Particulares

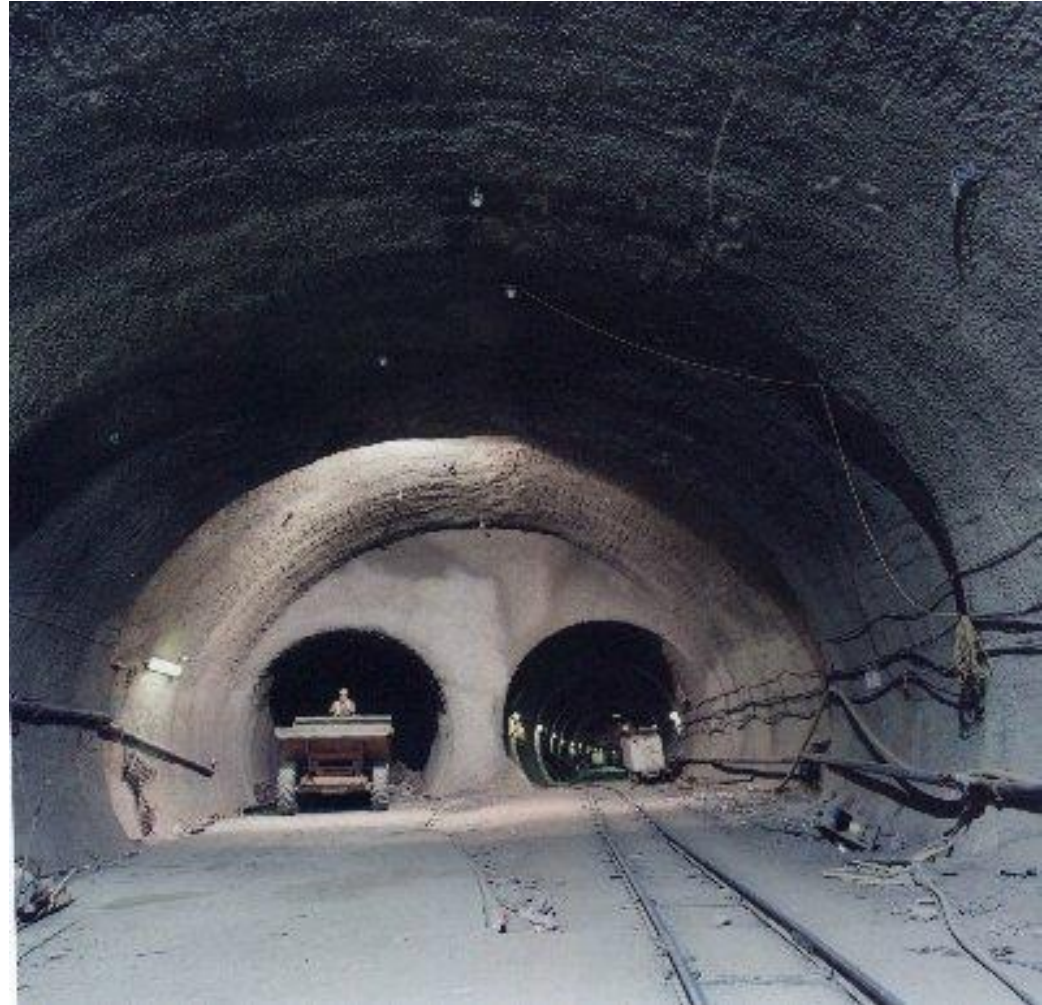
- **Temperaturas extremas, altas o bajas, Curado**
- **Planta propia u H° elaborado / Distancias de transporte y bombeo**
- **Ambientes agresivos (sulfatos, aguas ácidas, mar)**
- **Agregados extraídos de la excavación o disponibles**
- **Agua, Fuego**



- **Iluminacion**

# Condiciones Particulares

- **Disponibilidad de Cementos**
- **Roca buena/mala, Suelo portante o no**
- **Mano de obra: capacitacion, contexto del país**
- **Equipos, Aplicadores formados**
- **Etc.....**



# 2. Hormigón Proyectado

Hormigón o mortero proyectado neumáticamente sobre una superficie a alta velocidad” (ACI 116-R).

## **HORMIGÓN proyectado es HORMIGÓN**

Todos los factores importantes para el HORMIGÓN, lo son también para el HORMIGÓN PROYECTADO

**HORMIGON PROYECTADO  
ES UN MÉTODO ESPECIAL  
DE APLICACIÓN DEL  
HORMIGÓN**



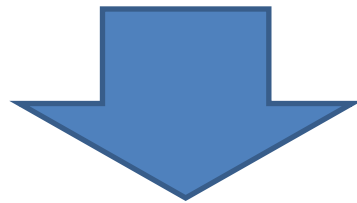
# 3. DURABILIDAD

- **Capacidad de una estructura para resistir** las condiciones de **exposición medioambientales** que puedan ocurrir durante **la vida útil**: **ataque químico a la matriz de hormigón y corrosión de la armadura**
- **Matriz de Hormigón:** requisitos de durabilidad generalmente satisfechos mediante el control del diseño de la mezcla: relación a/c baja y contenido de C3A limitado
- **Acero de Refuerzo:** requisitos de durabilidad generalmente satisfechos mediante la limitación del ancho de las fisuras en servicio a 0,3mm y la garantía de que la matriz de hormigón cumpla con los requisitos y características de la categoría de exposición adecuada.

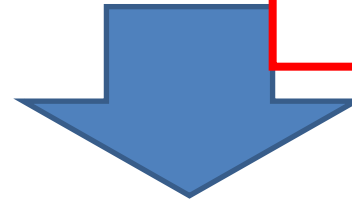
**Solo el Principio**

# 3. DURABILIDAD

- **Diseño para resistencia contra el fuego:** la estructura y sus componentes deben estar diseñados para la resistencia al fuego si es requerido por el tipo de proyecto.



Microfibras

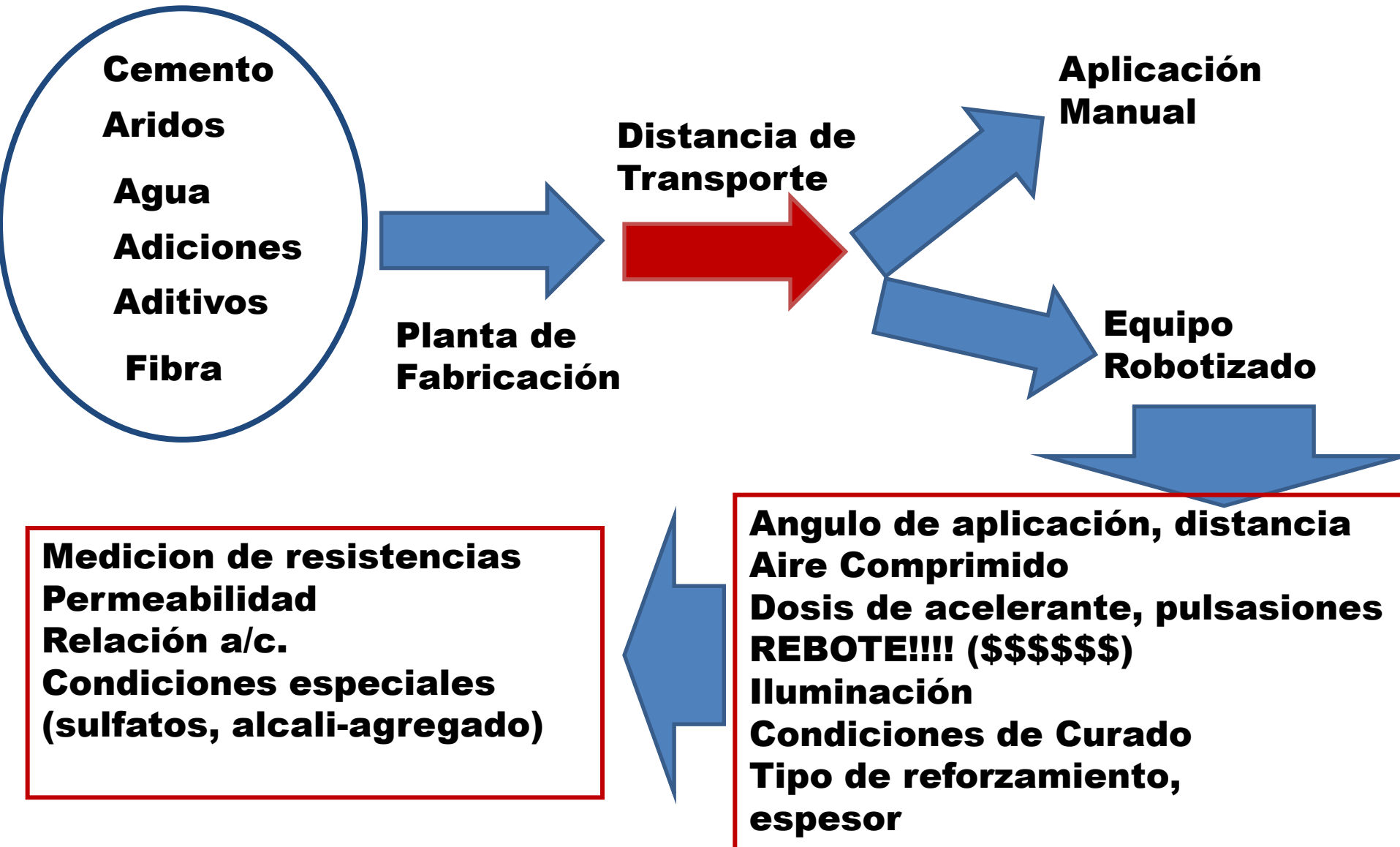


**Morteros Ignifugos  
Projectables**

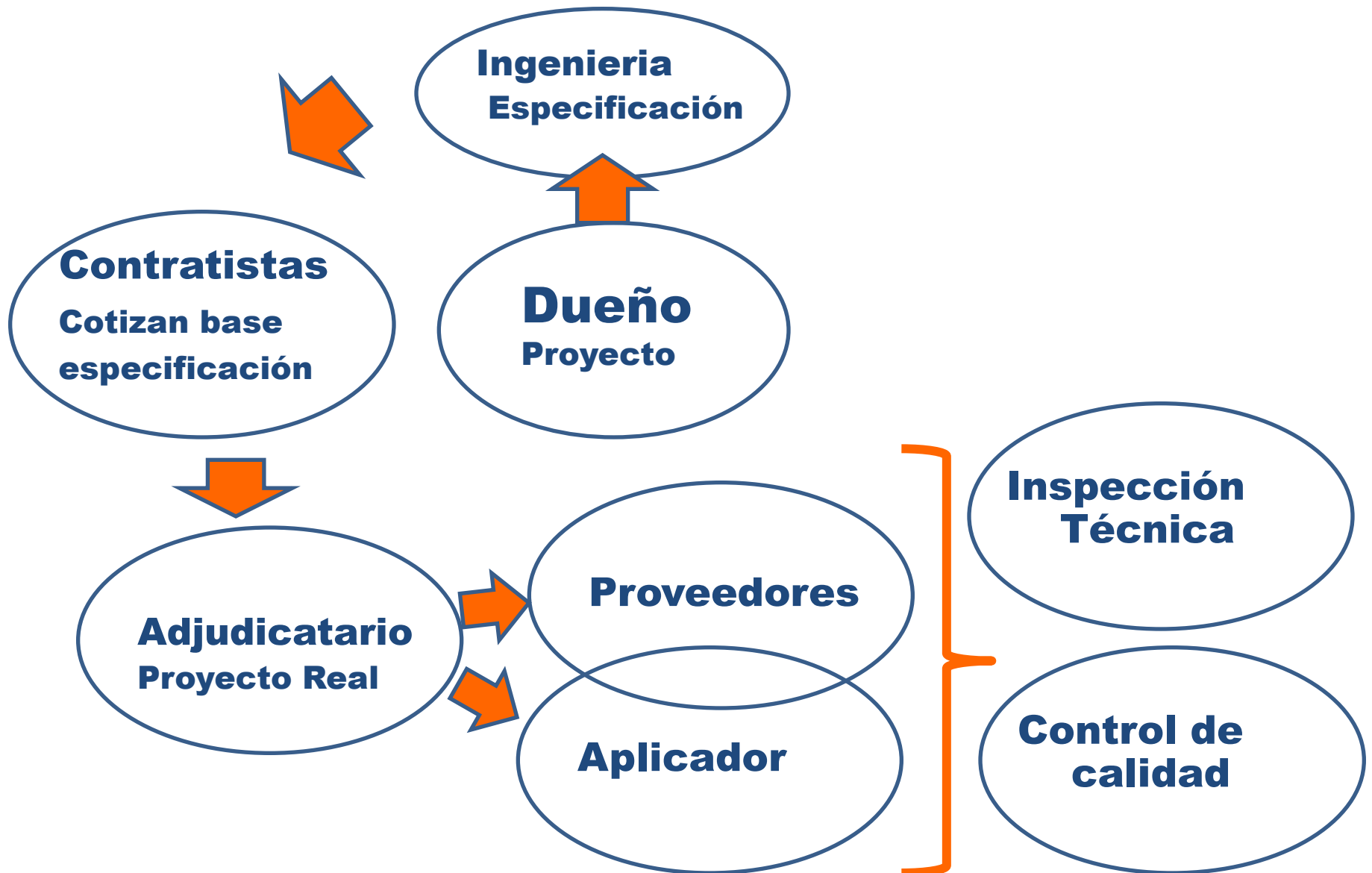
**Ignisilex Malta 4**

**FUEGO: EVENTO PUNTUAL  
PERO CATASTRÓFICO**

# DURABILIDAD: Factores



# 3. DURABILIDAD: Participantes



La **DURABILIDAD** DEL HORMIGON  
PROYECTADO **ES EL RESULTADO DE  
UN PROCESO CONTINUO**

AL QUE HAY QUE **DIRECCIONAR HACIA LOS  
OBJETIVOS FINALES A TRAVES DE LA  
ESPECIFICACIÓN CLARA DE LOS  
MATERIALES Y ENSAYOS**

Y **PAUTAS DETALLADAS** PARA LAS  
DIFERENTES **ETAPAS DEL PROCESO  
QUE LIMITEN LAS VARIABLES Y  
SEAN FUENTE PARA EL PLAN DE  
CONTROL DE CALIDAD CONTINUA.**

# Parámetros Durabilidad

- |                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| • <b>Relación agua/cemento</b> | <b>&lt;0,50</b>      |
| • Asentamiento o Extendido     | 18 -22 cm/ 50 -55 cm |
| • Resistencia a la compresión  | 30 -35 Mpa           |
| • Resistencia temprana         | 3 Mpa (4 horas)      |
| • Penetración de Agua          | <20mm                |
| • Resistencia a los sulfatos   |                      |

# FRECUENCIA RECOMENDADA PARA ENSAYOS EN PROYECTOS SUBTERRÁNEOS: ASOCIACION AUSTRALIANA DE SHOTCRETE

Características a analizar	Frecuencia mínima
En el despacho y entrega del hormigón	
Granulometría del arido grueso y fino. Desviación	1 vez por semana
Ensayos completos de aceptación (densidad – absorción)	
Asentamiento	Cada entrega
Producción de paneles de ensayo	Cada 50 m <sup>3</sup> o 1 por día
Inspección espesor y visual	
Lugar en la obra	Aleatoriamente
Frecuencia de los agujeros de perforación	Cada 50 m <sup>2</sup>
Determinación a 28-días resistencia a la compresión, densidad y densidad relativa	
Desde la descarga de hormigón	Set de 3 cilindros
Frecuencia de especímenes de moldeo y pruebas	Cada 50m <sup>3</sup> entregados
De los paneles de prueba - frecuencia de especímenes de ensayo, testigos extraídos de panel	Set de 3 testigos por cada panel
Determinación de la Penetración de agua	
De los paneles de prueba - frecuencia de las probetas de perforación	Un set de 3 testigos por semana
Determinación de la absorción – ASTM C1550	
Desde la producción de hormigón proyectado	Uno por cada día de producción****
Frecuencia de hacer conjuntos de muestra de curado	

# FACTORES MECÁNICOS y HUMANOS



# 4. DISEÑO DE MEZCLA

- Este Hormigon debe ser bombeado y proyectado !!
- Trabajabilidad MUY ALTA
- Baja a/c
- Alto contenido de cemento (finos)
- Agregados menores de 10mm (<rebote)
- Bajo contenido agua/cemento < 0,45
- Resistencias iniciales altas
- Resistencia a sulfatos. Cementos con bajo contenido de C<sub>3</sub>A, más lentos
- Curadores internos, baja a/c, silica fume
- Acelerantes en dosis no mayores al 8%
- Permeabilidad minima
- Buena adherencia



# Componentes

- Cemento
- Agregados
- Aditivos
- Adiciones
- Acelerantes de fragüe
- Fibra
- Agua



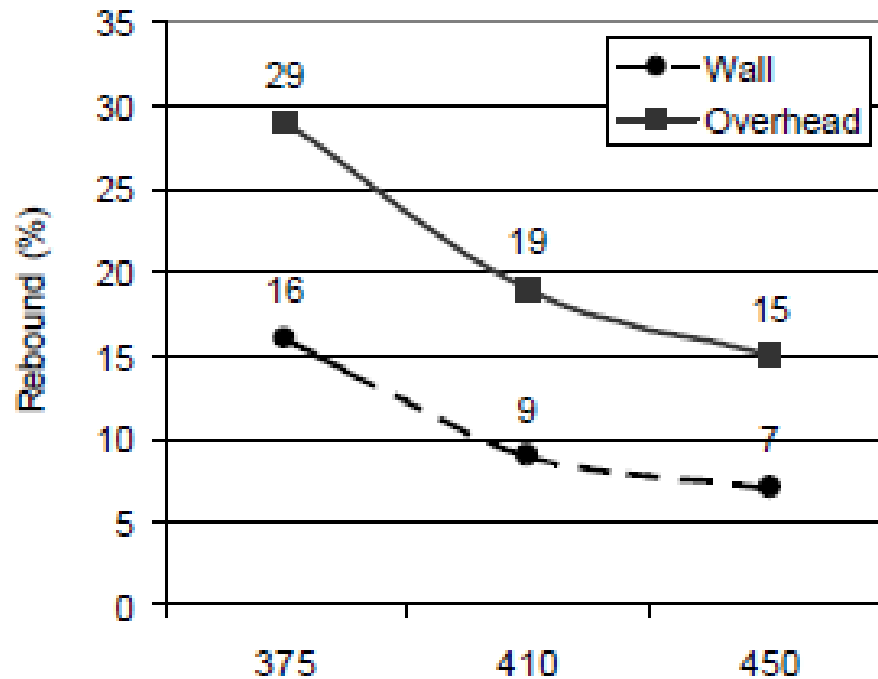
# Mezcla Típica

- **Cemento (8 a 10%):** 380 - 500 kg/m<sup>3</sup>
- **Relación a/c:** 0.40 - 0.50
- **Aditivos (0,5%):** Super o hiperplastificante, Acelerante de Fragüe, Curador interno, Inhibidor de la hidratación del cemento Ayuda Bombeo
- **Agregados (70%):** máximo 8-12 mm (algunos establecen <10mm)
- **Adiciones (2%):** silica fume, nanosílice, fly ash, etc.
- **Fibras**

# 4.1 Cemento

- Debe **cumplir las especificaciones y normas vigentes**
- **Cementos Portland Normales** en la mayoría de las aplicaciones
- **PRUEBAS de compatibilidad y reactividad** del cemento con los aditivos en laboratorio y obra: Muy importante ( comp. química, edad y blaine del cemento gobiernan esta reactividad)
- **MAYOR contenido de C<sub>3</sub>A y MAYOR Blaine, mas reactivos**
- **Para condiciones particulares:** Sulfatos o reacción álcali agregado deberán utilizarse **cementos especiales** (menor contenido de C<sub>3</sub>A (<5%) y menor reactividad)
- Se pueden utilizar **cementos modificados o con adiciones** siempre que se determine que son adecuados al proyecto

# Influencia del Contenido de cemento en el rebote



**Alto rebote: costos extra** Cement Content (kg/m³)

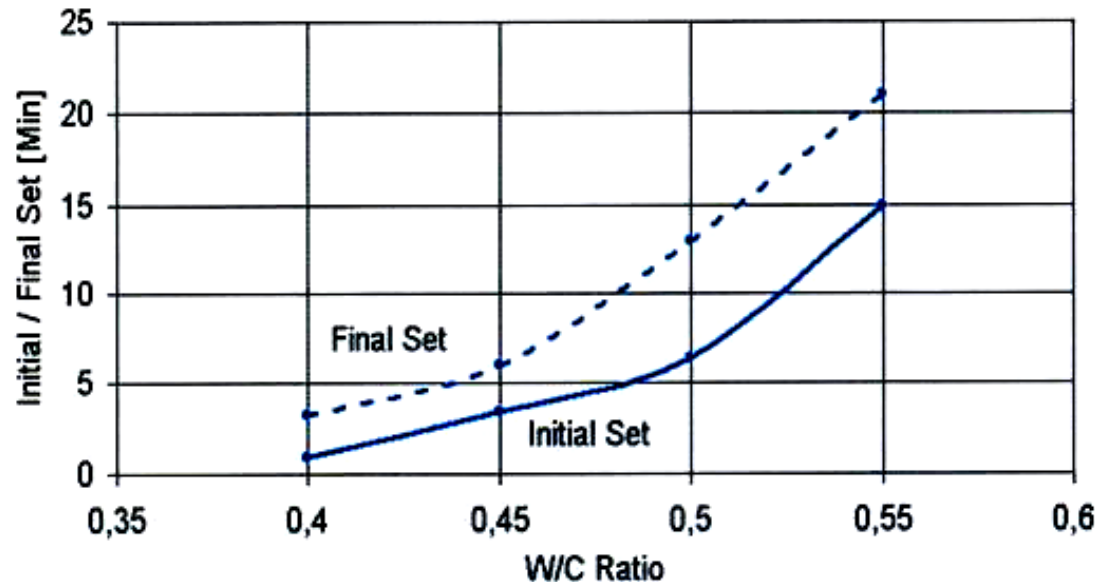
- Mayor consumo de hormigon
- Mayor consumo de acelerante
- Menor productividad
- Mayor contenido de cemento por m3 aplicado

# 4.1 Cemento

- El tiempo de inicio de fragüe debe ser lo suficientemente largo para trabajabilidad pero lo suficientemente corto para el desarrollo de las resistencias tempranas Normalmente 1,5 a 3,5 horas para cementos con Blaine de 350 m<sup>2</sup>/kg
- Control de la temperatura del cemento en planta o condiciones de almacenamiento en obra. EDAD
- Cementos especiales cuando sea requerido por ataque de sulfatos o reacción álcali-agregado

# 4.2 AGUA

- Factor Agua/cemento es crítico para la durabilidad:  $<0,45$ , mejor si es  $0,4$



> resistencia inicial  
> Resistencia final  
> durabilidad y resistencia al ataque químico

**Uso de Hiperplastificantes DYNAMON:  
reduccion de agua hasta un 40%,  
porosidad capilar 5 a 10%**

**Table 1: Assessment of mixing water**

Test	Testing method	Assessment		
		Suitable without comparative concrete tests	Suitable for use in certain cases <sup>1)</sup>	Not suitable
1. Colour	Visual test in graduated measuring vessel (wait until all suspended particles are precipitated)	colourless to slightly yellow	dark or coloured ( red, green, blue)	
2. Oil and grease	Visual test	traces	oil film, oil emulsion	
3. Detergents	shake sample strongly (Half fill measuring vessel)	slightly generating foam: Foam stability $\leq 2$ minutes	strongly generating foam: Foam stability $\geq 2$ minutes	
4. Suspended particles	80 cm <sup>3</sup> measuring vessel	$\leq 4$ ml	$> 4$ ml	
5. Odour	Addition of HCl	none - slight	strong (e.g. hydrogen sulfide)	
6. pH value	suitable indicator	$\geq 4$	$< 4$	
7. Chloride <sup>2)</sup> (Cl)		$\leq 500$ mg/l		$> 500$ mg/l <sup>5)</sup>
Steel reinforced concrete		$\leq 1000$ mg/l		$> 1000$ mg/l <sup>3)</sup>
Not reinforced concrete		$\leq 4500$ mg/l	$> 4500$ mg/l <sup>3)</sup>	
8. Sulfate <sup>2)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )		$\leq 2000$ mg/l	$> 2000$ mg/l	
9. Sugar, Glucose <sup>2)</sup>		$\leq 100$ mg/l	$> 100$ mg/l	
Saccharose		$\leq 100$ mg/l	$> 100$ mg/l	
10. Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sup>2)</sup>		$\leq 100$ mg/l	$> 100$ mg/l	
11. Nitrate (NO <sub>3</sub> ) <sup>2)</sup>		$\leq 500$ mg/l	$> 500$ mg/l	
12. Zinc (Zn <sup>2+</sup> ) <sup>2)</sup>		$\leq 100$ mg/l	$> 100$ mg/l	
13. Sulfide (S <sup>2-</sup> ) <sup>4)</sup>		$\leq 100$ mg/l	$> 100$ mg/l	
14. Sodium (Na <sup>+</sup> ) <sup>5)</sup> Potassium (K <sup>+</sup> )		Total $\leq 1500$ mg/l		$> 1500$ mg/l
15. Humic substances	Add 5 ml of 4-5 % NaOH to 5 ml of mixing water. Shake	paler than yellowish	darker than yellowish	

- Guia EFNARC

# 4.3 AGREGADOS



**Es la parte más grande en volumen (70%) y en masa del hormigón que determina factores como:**

- Demanda de agua
- Trabajabilidad
- Rebote
- Retracción
- Durabilidad

# 4.3 AGREGADOS. Consideraciones Generales

**La Calidad de los agregados** es de suma importancia en el hormigón proyectado, tanto fresco como endurecido

- Distribución del tamaño de granos
- Cantidad
- Forma
- Composición
- Contenido de humedad
- Contenidos orgánicos
- Posible tratamiento de lavado
- Posible susceptibilidad a reacción alcali – agregado
- Control de Temperatura del agregado en condiciones extremas



**NO HAY ELECCIÓN de Agregados, HAY que trabajar con lo disponible o lo extraído de la excavación (reciclado)** →

**Microsílice  
Hiperplastificantes  
Aditivos Ayuda  
bombeo**

# 4.3 AGREGADOS. Consideraciones Generales

**Tamaño Máximo: 8-10mm.** Debido a las limitaciones del equipo de bombeo y al rebote

**MUY Importante: Curva granulométrica. FINOS.**

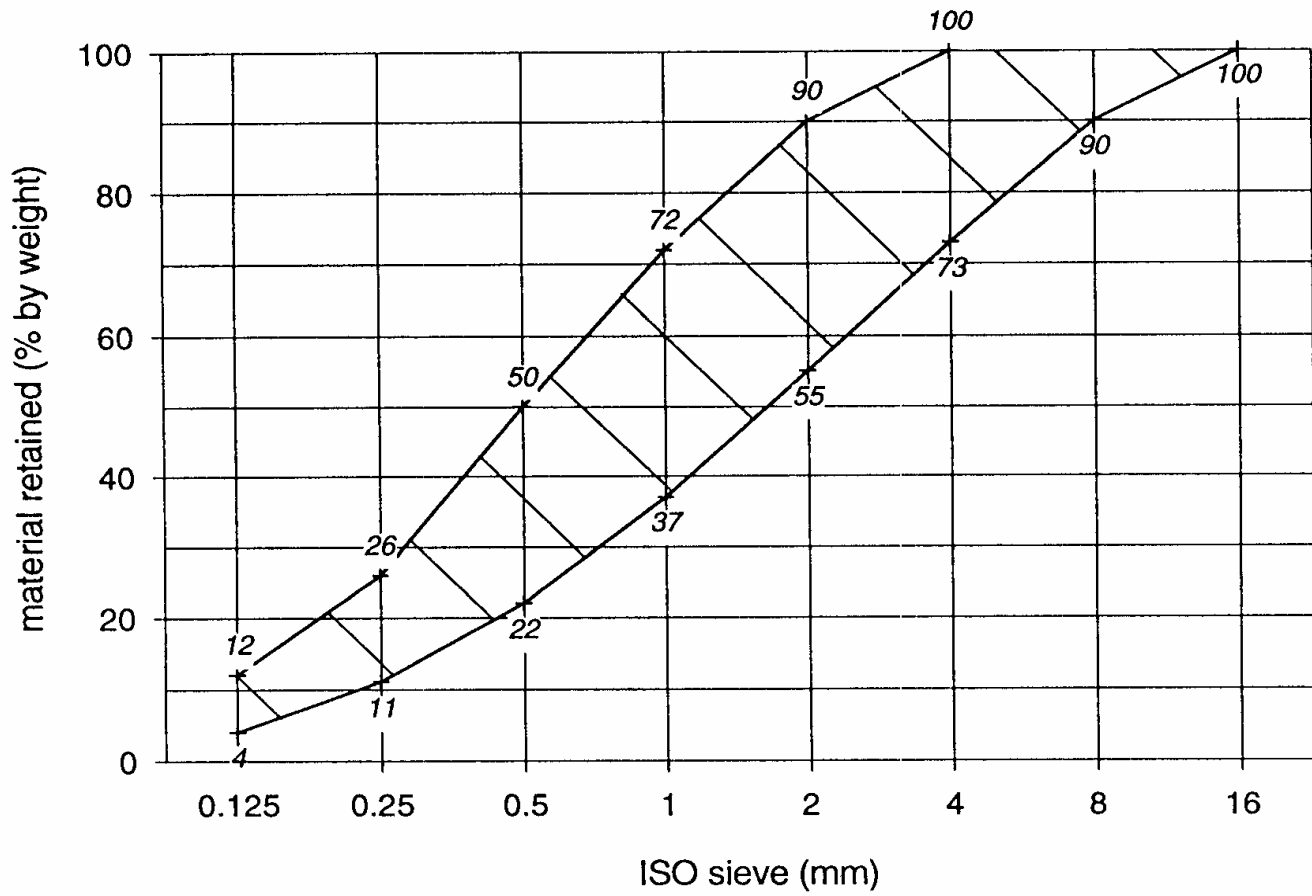
Particularmente los finos  $< 0,125\text{mm}$ : deberán ser mínimo 4-5% y no mayor de un 8-9%

**Mucho material fino: Segregación, mala lubricación y riesgos de obturación**

**FIBRAS: necesitan acompañarlas con más material fino!!!** Tanto para el bombeo como el rebote y compactación



Compensar falta de materiales finos:  
microsílice, cemento, mayor dosis de aditivos  
reductores de agua



# 4.4 ADITIVOS: Calidad y trabajabilidad

**Aditivos solo 0,5% ... ..Gran efecto sobre la mezcla !!!**

**Super/hiperplastificante: DYNAMON**

**Acelerante de Fragüe: MAPEQUICK**

**Curador interno: MAPECURE SRA**

**Inhibidor de la hidratación  
del cemento: MAPETARD**



# **DYNAMON: Reducción de agua hasta 40%**

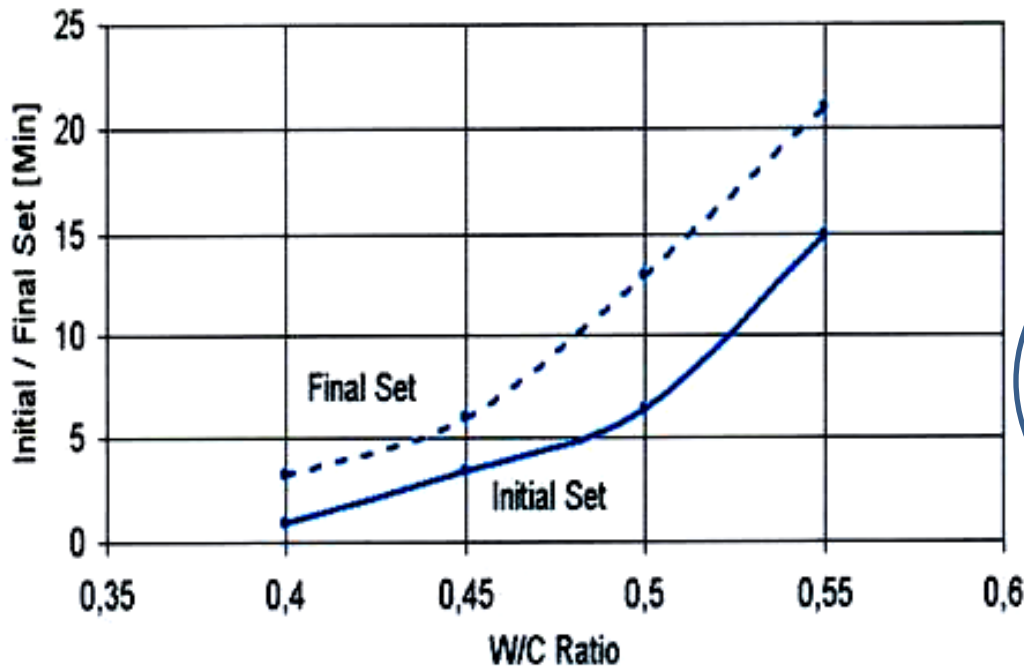


- Bajas relaciones a/c 0.37 to 0.45
- Altas resistencias iniciales y a largo plazo
- Mezclas bombeables
- Mejora de la durabilidad
- Minimiza fisuración
- No retarda
- **Retencion de Asentamiento**



# Superplastificantes - Hiperplastificantes

- **Escenciales para el hormigón proyectado**
- **a/c SIEMPRE < 0.5,**
- **Preferentemente < 0.45,**
- **Idealmente < 0.40**



Incrementan la trabajabilidad a igualdad de a/c o disminuyen esa relación

# **INHIBIDORES DE HIDRATACION DEL CEMENTO: MAPETARD**

- Retrasa la hidratación hasta la adición del acelerante
- Mejora la capacidad logística del hormigón
- Hormigon Fresco al pie de la obra

# INHIBIDORES DE HIDRATACION DEL CEMENTO

## MAPETARD

Largas distancias,  
congestionamientos



- Control de hidratación del cemento
  - No retarda
  - No afecta la resistencia final
  - Mantiene tiempo abierto y bombeabilidad hasta 3 días
- 
- Si se usan solo reductores de agua y adición de retardantes: **MALO** para reactividad del acelerante y resistencias tempranas. Mayor dosis de acelerante, resistencias finales

# **MAPEQUICK AFK:** Elección del acelerante Alkali Free correcto

**Dos factores principales**

```
graph TD; A[Dos factores principales] --> B[Test de compatibilidad en laboratorio]; A --> C[Requerimientos de proyecto: - Inicio de Fragüe - Desarrollo de resistencias mecánicas];
```

**Test de compatibilidad en laboratorio**

**Requerimientos de proyecto:**

- Inicio de Fragüe
- Desarrollo de resistencias mecánicas

# MAPEQUICK AFK: Elección del acelerante Alkali Free correcto

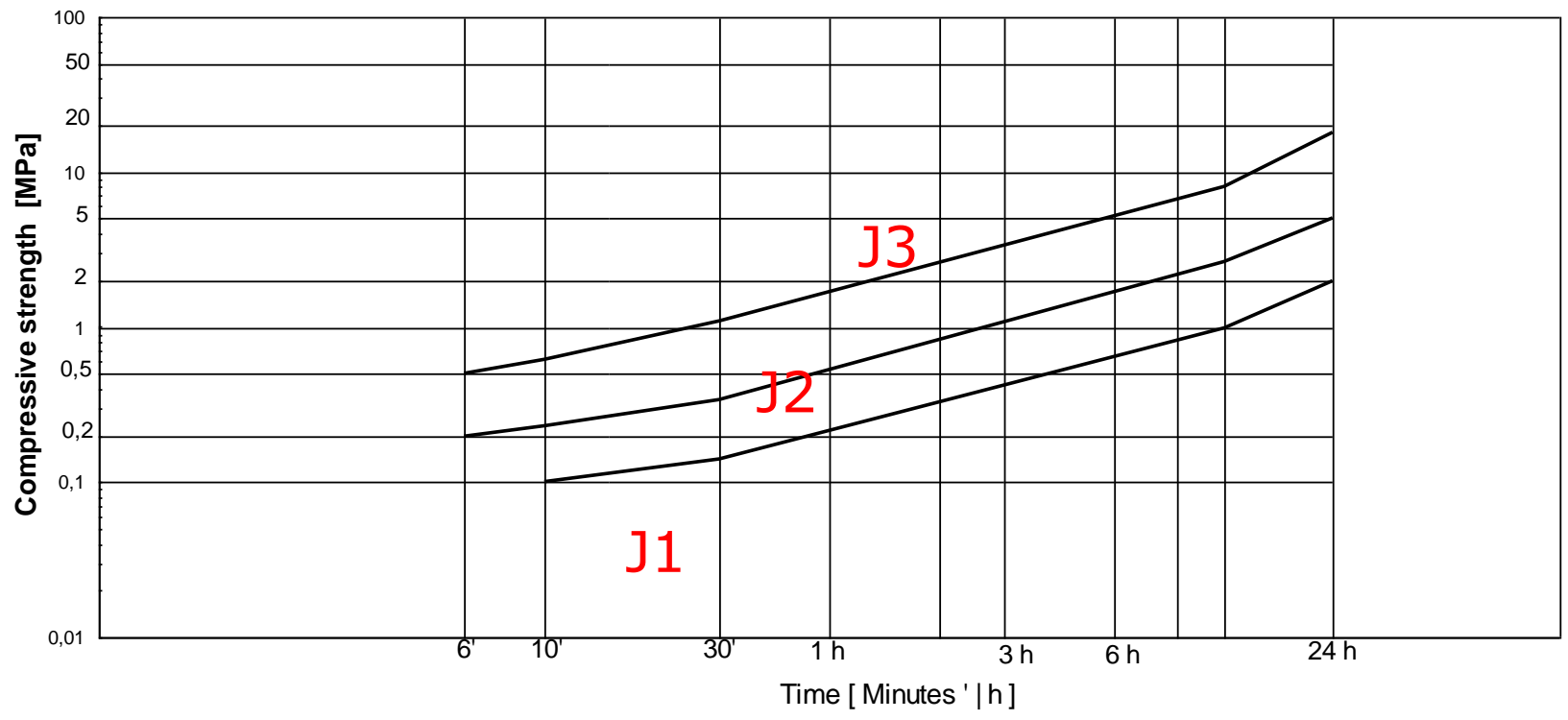
- Condiciones del suelo/roca
- Temperatura
- Reactividad del cemento
- Resistencias
- Ingreso de agua o no
- Espesor
- DECANTACIÓN!!!



# Project requirements: Strength development curves according to NATM (New Austrian Tunnelling Method)

Strength resistance classes of shotcrete

UNI EN 14487-1



## Project requirements: Strength development curves according to NATM (New Austrian Tunnelling Method)

3 clases de hormigón: J1 , J2 y J3.

**J1**: capas delgadas, substrato seco, sin condiciones especiales de carga . No estructural

**J2** : capas más espesas (sobrecabeza), alto rendimiento, presencia de agua, cargas de trabajo subsiguientes. En condiciones normales J 2 es suficiente

**J3** Trabajos de consolidación o alta presión de agua. Condiciones especiales: roca altamente friable, depósitos aluviales, gran ingreso de agua. Solo para áreas limitadas



# **CURADOR INTERNO: MAPECURE SRA**

Hormigón requiere acciones que aseguren un correcto curado para alcanzar la calidad y durabilidad que buscamos

Hormigón proyectado: esto es MUY Importante debido al poco espesor (20 a 25cm y algunas veces hasta 10cm en minería)

La rugosidad de la superficie aumenta la evaporación del agua

Mayor temperatura generada por el acelerante

Deficiente ventilación en túneles

ALTOS contenidos de cemento

# **CURADOR INTERNO: MAPECURE SRA**

➤ **Maximizar la hidratación del cemento reduciendo la evaporación no controlada de agua**

➤ **Curadores externos:** se utilizan sobre la superficie de hormigón. En el caso de uso de acelerantes debo aplicar el curador dentro de los 10 min después de proyectado y en cantidad doble de la usada para hormigón colado y ....

➤ Nada que hacer si tengo que aplicar otra capa: ADHERENCIA!!

➤ Olvidar los base solvente para dentro del túnel!!!

# **CURADOR INTERNO: MAPECURE SRA**

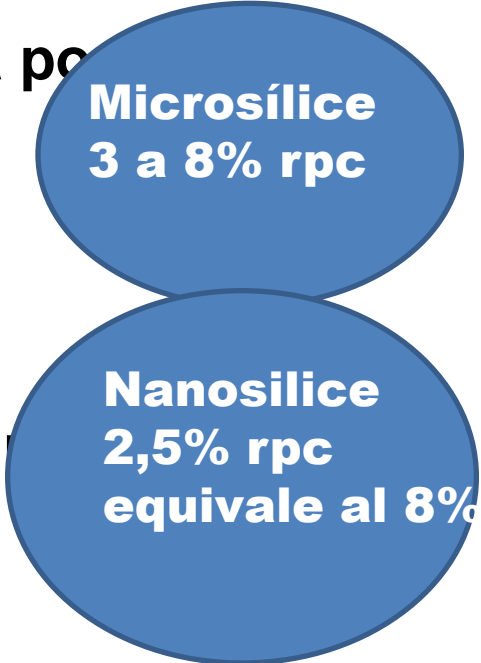
- **Curadores internos:** se adicionan a la mezcla de hormigón
- Proveen las condiciones para el curado del hormigón, sin los problemas de control de calidad y sin mano de obra adicional
- El curado comienza inmediatamente después de la proyección y uniformemente distribuido en la masa de hormigón
- Solo una prueba de resistencia nos da la pauta del efecto!!!!
- El agua es el mejor curador, pero no siempre es posible

# 4.5 Adiciones: Microsílice y Nanosílice

Adiciones: se introducen directamente en la mezcla. Pueden usarse para optimizar la distribución de agregados, mejor compactación y/o mejorar condiciones del hormigón fresco o endurecido

Muchas adiciones incrementan además los silicatos de calcio hidratados en el proceso de hidratación del cemento lo que se traduce en una mejora directa de la resistencia y baja permeabilidad

- **Reducción de la permeabilidad/ baja por capilaridad**
- **Mayor resistencia a sulfatos**
- **Mayores resistencias**
- **Mayor cohesión, mayor adherencia,**
- **MAYOR DURABILIDAD**



**Microsílice  
3 a 8% rpc**

**Nanosilice  
2,5% rpc  
equivale al 8%**

# 4.5 Adiciones: Microsílice y Nanosílice

**Nanosílice: es generalmente más efectiva que la microsílice**

Mayor finesa,

Matriz de hormigón más densa y menos permeable

Mayores resistencias

Mayor durabilidad

**MAPEPLAST NS20**

## 4.6 Fibras

- Fibras se adicionan a la mezcla de hormigón para incrementar su capacidad de absorción de cargas luego del límite elástico.

Reducción la fisuración

Reforzamiento uniformemente distribuido en el hormigón



**Steel fibers**



**Steel fibers packed**



**PP structural fibers**



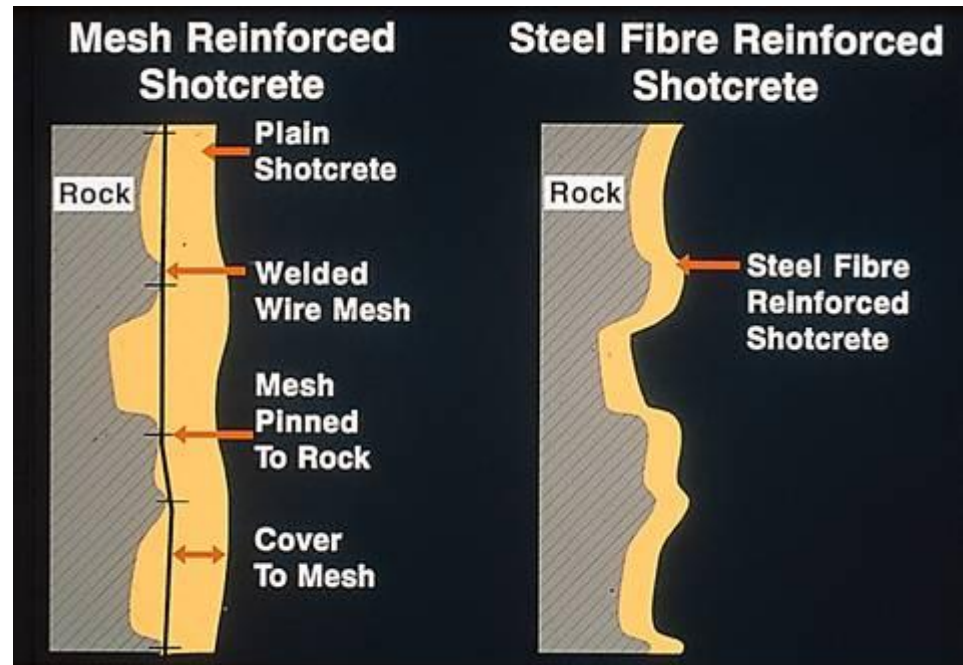
**Glass fibers**



**PP anti spalling fibers**

# Hormigón proyectado para sostenimiento

- menor costo total que la malla
- H° puede aplicarse en una capa
- Reducción de los espesores
- Mejor logística



# **MAPEFIBRE IT 39:**

## **Polipropileno**

Reemplazo de fibras de acero de alta performance

**EFNARC TESTS: 500 joules con 3kg/m<sup>3</sup>**

Incrementa la resistencia al fuego

Reduce el desgaste de equipos

Reduce el rebote

No se corroen aún cuando estén expuestas

# CONCLUSIONES

El hormigón proyectado es un hormigón normal en muchos aspectos, pero hay factores que deben ser entendidos y considerados apropiadamente

Para estructuras definitivas el único camino para lograr la calidad y durabilidad es a través de un enfoque global de TODO EL PROCESO,

Importante: Considerar todos los factores desde el diseño de mezcla, la elección del equipo, el curado y la inspección periódica y mantenimiento de la estructura

Dependiendo de las condiciones de exposición se tendrán en cuenta diferentes parámetros de durabilidad como prioritarios

**Las ventajas están en términos de costo y tiempo de construcción, pero para que se extiendan a la vida útil del proyecto debe existir un control de calidad enfocado a TODO EL PROCESO**

**La experiencia demuestra que es posible lograr hormigones proyectados de alta calidad y durabilidad.**

**GRACIAS**

