



RC 2018 xvii Reunión
del **CONCRETO**

El evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados



MODIFICACIÓN DE MATERIALES CON CEMENTANTES: UNA FILOSOFÍA

***Ing. Fredy A. Rodríguez V., MSc.
Holcim (Colombia) S.A.
Colombia***

Contenido de la presentación

Contenido

1. Introducción

2. Comportamiento del material

3. Modelización mecánica

4. Selección del Hydraulic Road Binder - HRB

5. Diseño de la mezcla con HRB

6. Proceso constructivo

7. Control de calidad

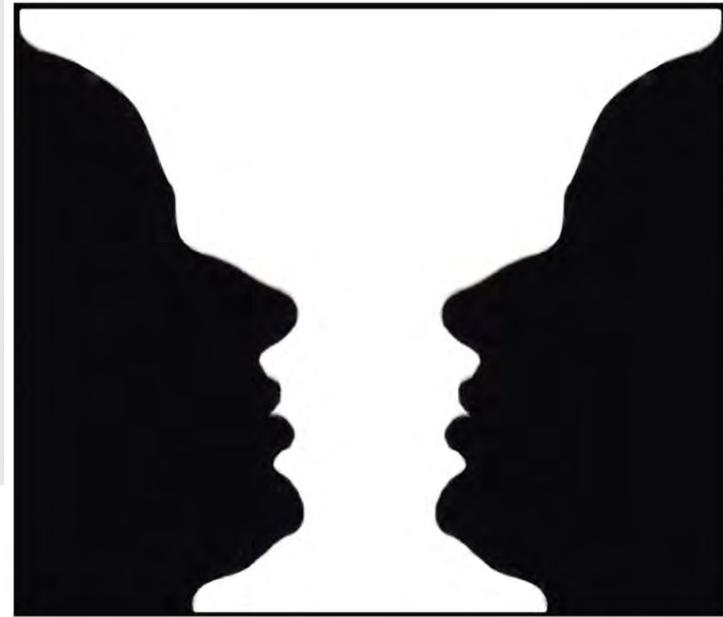
8. Conclusiones

Sea lo que veas, es tú paradigma

Señorita o Señora?



Copa o Rostros?



Introducción

¿Mejorar o Estabilizar o modificar?



¿Por qué modificar los materiales?

- Según Rico & Del Castillo (1976), es frecuente encontrar no adecuados en algún sentido los suelos, en un lugar específico.
 - Aceptar el material tal como lo encuentre.
 - Eliminar el material insatisfactorio.
 - – Modificar las propiedades del material existente.

Introducción

¿Qué propiedades se pueden modificar de los materiales?

- Estabilidad volumétrica
- Resistencia
- Permeabilidad
- Compresibilidad
- Durabilidad

¿Con qué podemos modificar los materiales en pavimentos?

- Medios mecánicos
- Drenaje: “Siempre debe mejorarse el drenaje, es quien garantiza la vida del pavimento”.
- Calor y calcinación
- Medios eléctricos: Pilotes electro metálicos.
- Química: Cemento, cal y asfalto.

Introducción

Selección del cementante para la modificación (Austroads, 2006)

Plasticity Index	More than 25% Passing 75µm			Less than 25% Passing 75µm		
	PI≤10	10<PI<20	PI>20	PI≤6 PI x % passing 75µm≤60	PI<10	PI>10
FORM OF STABILISATION						
Cement and Cementitious Blends	Green	White	Red	Green	Green	Green
Lime	White	Green	Red	Red	White	Green
Bitumen	White	White	Red	Green	Green	White
Bitumen/Cement Blends	Green	White	Red	Green	Green	White
Granular	Green	Red	Red	Green	Green	White
Miscellaneous Chemicals*	Red	Green	Green	Red	White	Green

* Should be taken as a broad guideline only. Refer to trade literature for further information.

Note: The above forms of stabilisation may be used in combination, eg. lime stabilisation to dry out materials and reduce their plasticity, making them suitable for other methods of stabilisation.

Key: usually suitable doubtful usually not suitable

Source: Guide to Stabilisation in Roadworks - Austroads 1988, Table 2.3 - "Guide to Selection Method of Stabilisation"

Introducción

¿Cuál es el cemento adecuado para realizar modificaciones?

Hydraulic Road Binder [HRB] (EN 13282):

Son cementantes que se fabrican:

- **ajustados** para **modificar las propiedades**
- que **el diseñador del pavimento** requiere mejorar,
- según el **desempeño mecánico** previsto en el período de diseño de la estructura vial.

¿Qué propiedades modifica el HRB en los materiales?

- **Aumenta** la estabilidad volumétrica
- **Aumenta** la resistencia
- **Reduce** la permeabilidad
- **Reduce** la compresibilidad
- **Aumenta** la durabilidad

Introducción

¿Cómo funciona el HRB?

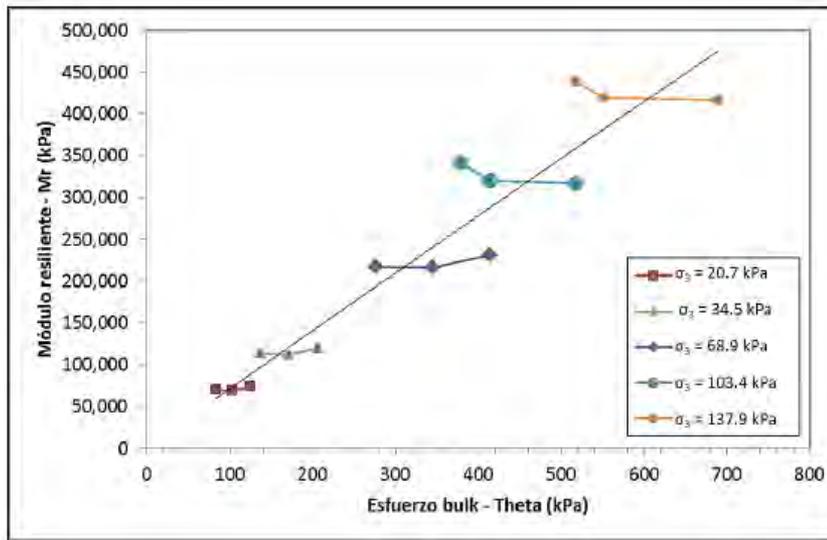
- Extendidos períodos de **trabajabilidad** [>5 horas].
- **Modifica** las propiedades que se evalúan con el diseñador.
- Genera bajo **calor de hidratación**.
- Evolución lenta de la resistencia, lo cual **reduce** la aparición de fisuras.

HRB Ideal



Comportamiento del material

Baja cementación o alta fisuración [Por prefisuración o posfatiga]



Vásquez Varela (2017)

Propiedades

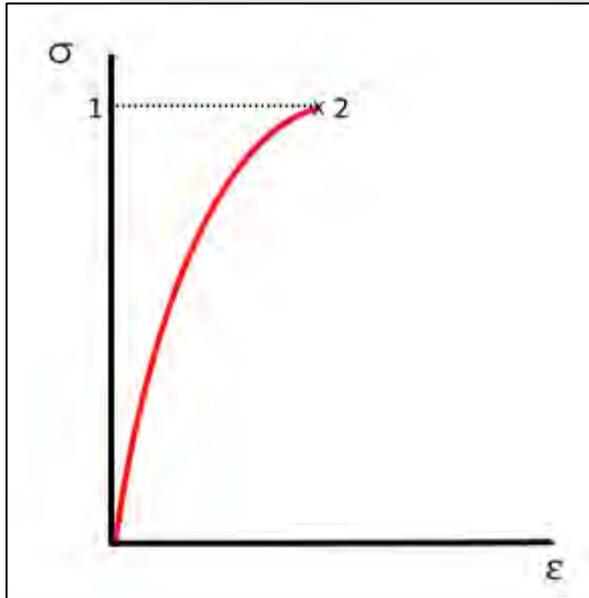
- Prefisurado en la construcción o fatigado en la operación.
- El **módulo resiliente** depende del estado de esfuerzos.

$$M_r = k_1 \times P_a \times \left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{k_2} \times \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1\right)^{k_3}$$

- Es decir, de la posición de la capa dentro del pavimento.
- No tiene ley de fatiga.
- Acumula pocas deformaciones permanentes.

Comportamiento del material

Alta cementación o baja fisuración



Propiedades

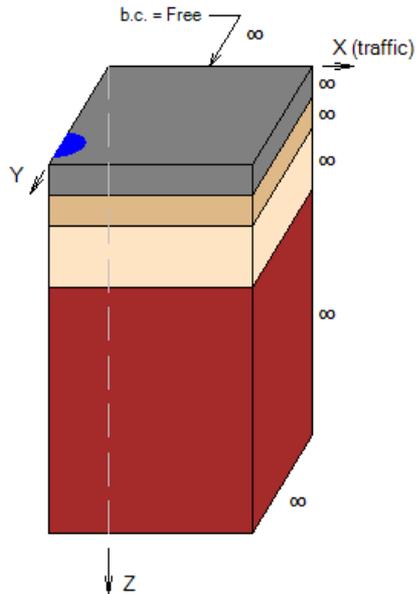
- **Módulo elástico.** No depende de la posición de la capa.
- Tiene ley de fatiga del tipo:

$$\sigma_t(N) = (1 + 6\beta) \left(\frac{N}{10^6} \right)^b \sigma_0$$

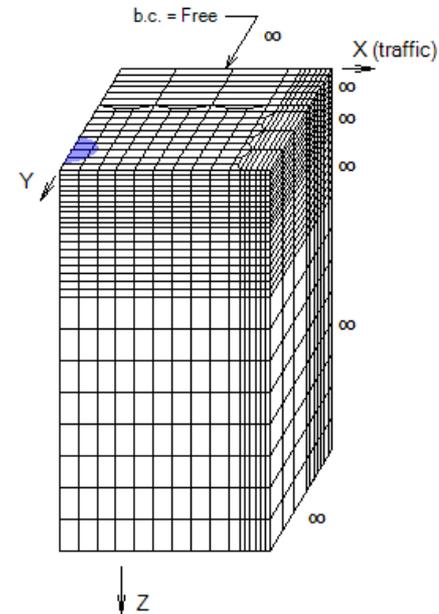
- Una vez consumida la vida de fatiga, se debe simular como un **material fisurado.**

Modelización mecánica

Alta cementación o baja fisuración

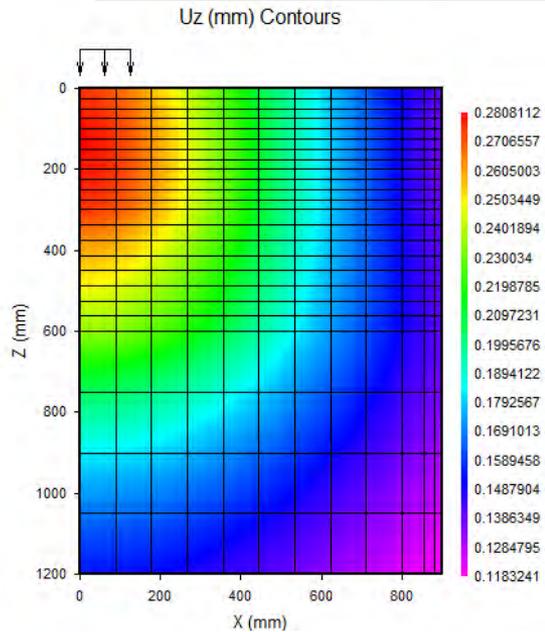


Modelo de elementos finitos [FEM]

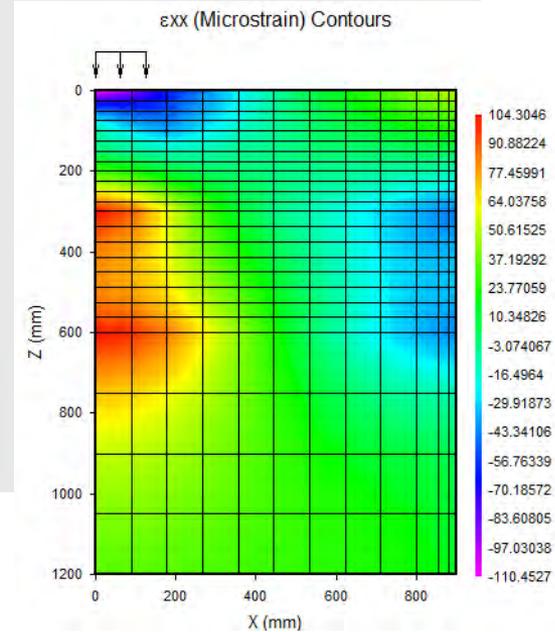


Modelización mecánica

Resultados [Deflexiones]



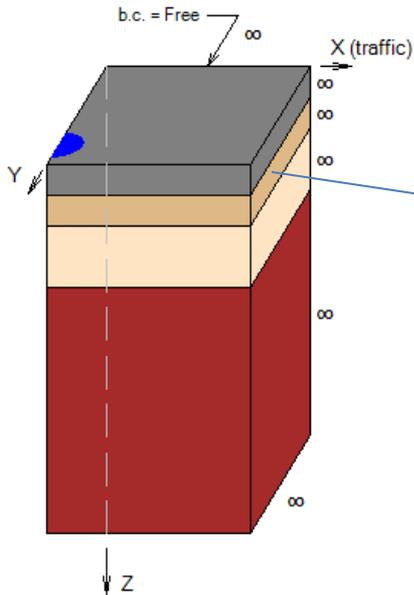
Resultados [Micro deformaciones]



Modelización mecánica

Baja cementación o alta fisuración
[Por prefisuración o posfatiga]

Análisis elástico no lineal de las
capas de baja cementación o alta
fisuración



Modelización mecánica

Resultados de la iteración de los módulos de la capa poco cementada

RESUMEN RESULTADOS										
CAPA	ESPESOR (in)	z (in)	ESF. VERTICAL (psi)	ESF. RADIAL (psi)	TETA (psi)	E (psi)	w*E	DEFORMACIÓN (in)	CONTRIBUCIÓN EN LA DEFORMACIÓN	
							873.6			
1	12	6	51.716	4.603	61.686	30860.78		0.0174		54%
							338			
2	12	18	11.695	-0.510	12.966	21335.02		0.0073		23%
							182.1			
3	12	30	4.571	-0.266	7.859	20336.53		0.0029		9%
							123.2			
4	12	42	2.388	-0.149	7.438	20254.22		0.0015		5%
							92.94			
5	12	54	1.459	-0.093	8.147	20392.94		0.0009		3%
							74.54			
6	540	330	0.040	-0.003	42.048	27021.28		0.0025		8%
							7.488			
TOTAL DEFORMACIÓN								0.0324	100%	

Selección del HRB

Necesidades del pavimento

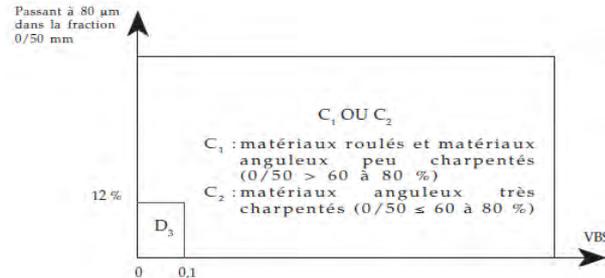
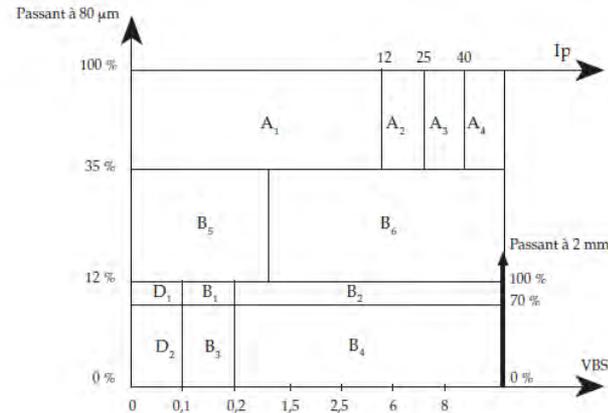
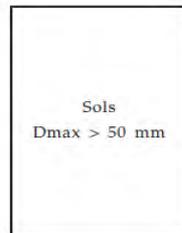
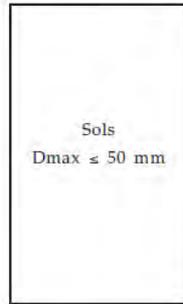
- Se debe definir qué necesita el diseñador del pavimento.
 - **Uniformidad del soporte:** Qué variable estudia? K / E.
 - **Resistencia a la erosión:** Estudiar el sistema de drenaje y la susceptibilidad máxima del material tratado con HRB.
 - **Bajas deflexiones**

Identificar el HRB para el tipo de material a modificar

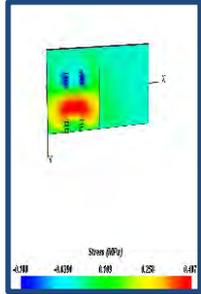
- La amplia variedad de materiales en la naturaleza, demandan **diferentes tipos de HRB** para tratarlos.
- Se deben estudiar las características físicas y químicas de los materiales a tratar, antes de formular un HRB.
- Identificar sustancias peligrosas: Sulfatos, sulfuros, fosfatos, nitratos, etc.
- Qué propiedades se requieren en el material? **Esa es la pregunta clave para hacer Tailormade.**

Selección del HRB

Clasificación de suelos: Usar granulometría, Índice de plasticidad y Valor de azul de metileno (LCPC, 2000).



Diseño de la mezcla con HRB



Establecer necesidades:

- Revisar hipótesis de diseño del pavimento
- Propiedades mecánicas objetivo



Estudio en estado manejable:

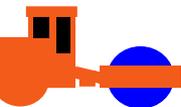
- Pruebas de manejabilidad, PH
- Calor de hidratación



Estudio en estado endurecido:

- Resistencia a la compresión, a la flexión, módulo de elasticidad, durabilidad, erosión y fatiga.

Proceso constructivo en sitio



- 1 – Extender el HRB
- 2 – Mezclar en sitio el material con el HRB
- 3 - Nivelación
- 4 – Compactación de la capa tratada
- 5 – Curado y protección

Proceso constructivo desde planta

**Planta de mezclado HRB +
Material**



Ruta del sol II



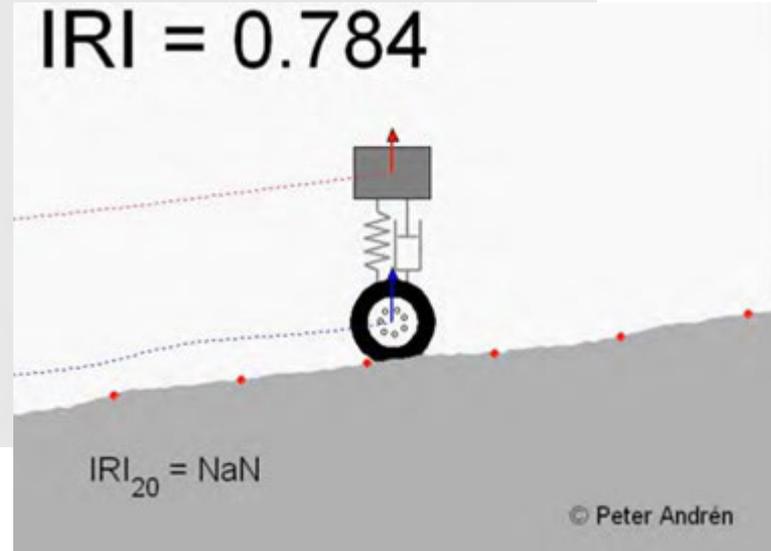
Créditos: Carlos Gamboa

Construir de forma adecuada

Trabajar con equipos que garanticen:

- Eficiencia en el mezclado del material con el HRB.
- Nivelación y regularidad superficial **[IRI]**.
- IRI alto incrementa el deterioro en los vehículos y los costos del transporte se elevan **[HDM-4]**, lo cual resta **competitividad**.

Qué es el IRI?

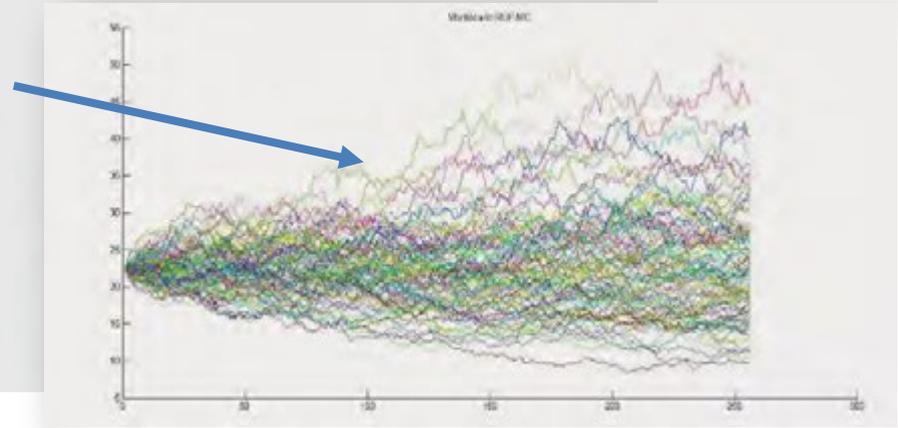


Construir de forma adecuada

Trabajar con equipos que
garanticen:

- **Altas desviaciones estándar** en el espesor y desempeño del material, **aumentan probabilidad de falla.**
- Aumentar la probabilidad de falla, **disminuye vida de diseño.**
- *Los pavimentos funcionan como se construyen, no como se diseñan.*

Simulación de Montecarlo



Prefisuración

Prefisurar o no?

- La respuesta es: **Depende** de la función de la capa.
- Esta función es definida por el **diseñador** del pavimento.
- La técnica japonesa es más cercana a prefisurar.

Proceso de prefisuración



Créditos: Carlos Gamboa

Curado

Siempre se debe hacer curado

- Todo material cementado, debe ser curado.
- Agua + agua + agua.
- De ser posible, imprimir con producto bituminoso.

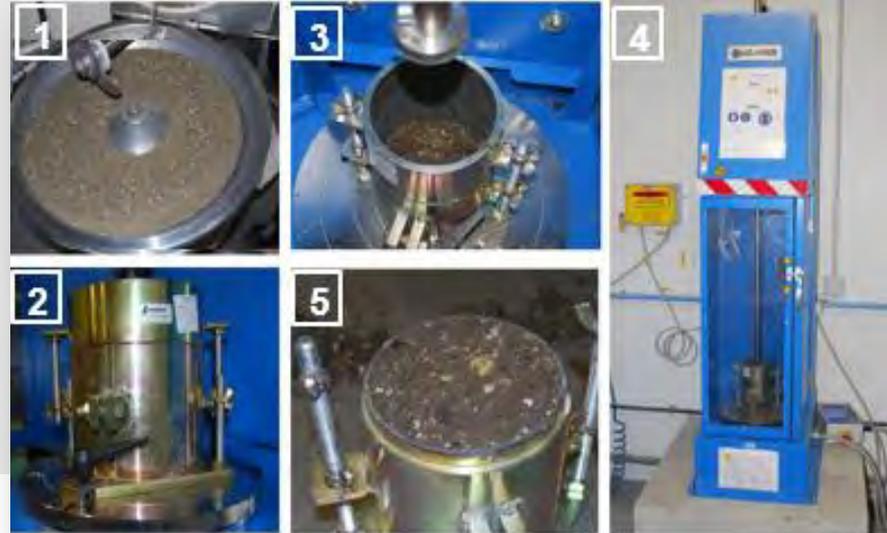
Proceso de curado



Control de calidad

Control en estado manejable

- Trabajabilidad
- Uniformidad de la mezcla [Uso de curvas PH calibradas]
- Compactación:
 - Próctor estándar
 - Próctor modificado
 - Compactador giratorio



Control de calidad

Medición módulos en sitio con LWD

Control en estado endurecido

- CBR
 - Es un debate aún no concluido.
 - Depende de la propiedad controlada.
 - Expansión se controla.
- Resistencia a la compresión y a la flexión
- Probetas para fatiga
- Módulos en sitio
 - Uso de LWD, FWD
 - Depende del tipo de capa

Verificar las
hipótesis de
diseño



Conclusiones

- Se debe **formular el HRB** para cada problema planteado en los diseños de pavimentos.
- Variedad de suelos en la naturaleza implica **más de un tipo de cemento** para modificar propiedades.
- Caracterizar los materiales modificados con HRB según el **Método AASHTO/93 NO** permite entender los beneficios mecánicos de su uso.
- Trabajar con el **Método de elementos finitos** y **la ecuación constitutiva elástica no lineal**, permite entender el funcionamiento de los materiales.
- Las propiedades a modificar deben **concertarse** con el diseñador del pavimento.
- **Invertir** en mejores equipos de construcción tiene un retorno de la inversión **[ROI]** más alto para el constructor y para la sociedad en su conjunto [Aumenta la competitividad del país].
- El control de calidad debe estar orientado a **verificar** las hipótesis de diseño.

Reflexión final

El proceso no es complejo, pero
requiere personal experto.

Cuenten con nosotros!!



Conferencista:

**Ing. Fredy Rodríguez (Jefe Comercial de
Infraestructura & Proyectos Holcim
(Colombia) S.A**

Cel. 3208596298

fredy.rodriguez@lafargeholcim.com

