

A white and blue commercial airplane is shown in flight, banking to the right. The background features a dramatic landscape with steep, rocky mountains and a city nestled in a valley below. The sky is a clear, pale blue.

IX Seminario ALACPA de Pavimentos Aeroportuarios/ VII Taller FAA/ II Curso Rápido de Pavimentos de Aeródromos

**SOLUCION DE ALTO DESEMPEÑO PARA LA
CONSTRUCCION-REHABILITACION DE PAVIMENTOS
AEROPORTUARIOS**

Ing. Pablo del Aguila

VIII SEMINARIO Buenos Aires

IX SEMINARIO Panamá



VIII Seminario ALACPA de Pavimentos Aeroportuarios, VI Taller FAA, Software para Pavimentos
I Curso Rápido de Mantenimiento de Pavimentos de Aeródromos
Buenos Aires, Argentina, 30 de agosto al 2 de septiembre de 2011 Centro Cultural Borges, Viamonte esq. San Martín



Esta presentación resume los resultados obtenidos en un proyecto de investigación efectuado para el desarrollo de una solución para pavimentos de alto desempeño, como son los corredores de carga y los pavimentos aeroportuarios.



La alternativa desarrollada esta basada en una tecnología con mas de 100 años de vigencia en el mundo, la cual ha sido repotenciada mediante la incorporación de lo mas avanzado de la investigación Europea en nano-tecnología aplicada en aditivos para concreto (hormigón)



EL SUELO-CEMENTO ACTIVADO O CONCRETO ZEOLITICO



El Problema

- ❑ La solución de capas estabilizadas con cemento, para la construcción de pavimentos, tiene la desventaja que desarrolla micro-fisuramiento debido a la contracción por fragua, en lapsos relativamente cortos.
- ❑ El fisuramiento suele agravarse con el tiempo y se reflejan en las capas asfálticas superiores.



El Problema

- Para superar esta dependiente carencia de esta tecnología, existen diversas opciones:
 - Uso de bajo contenido de cemento y por lo tanto una limitada ganancia de resistencia de la capa.
 - Uso de aditivos para el control de la contracción por secado o fragua.
 - Uso de la técnica del “microcracking”
 - Uso de membranas anti-reflejo de grietas sobre las capas estabilizadas.



El Problema

- Generalmente la solución queda relegada para la estabilización de suelos, o para las capas inferiores del pavimento, sobre las cuales se coloca finalmente un pavimento de concreto hidráulico.
- En el Perú, las experiencias del empleo de bases cementadas con carpeta asfáltica como capa de rodadura no han tenido resultados exitosos, sobre todo en las zonas de selva, en donde no existe disponibilidad de materiales granulares.



Dulles International Airport - 2008

- En Noviembre del año 2008 se inauguró la cuarta pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional de Dulles, en Washington, EE.UU.
- Con un costo de US \$ 356 millones, la construcción de la pista incluyó el tratamiento previo de los suelos con un 5% de cemento.
- Sobre el suelo estabilizado se instaló una base tratada con cemento de 6 pulgadas (15 cm), seguida de una losa de concreto de 18 pulgadas (45 cm) de espesor, como capa de rodadura.



Nestor Gambetta Expressway - 2010



Nestor Gambetta Expressway - 2010



Nestor Gambetta Expressway - 2010



Nestor Gambetta Expressway - 2010

- En el Año 2010, CAMINEROS desarrolló el estudio de pre-inversión de la autopista, cuyo tráfico esta conformado mayoritariamente por camiones de carga, siendo el valor crítico de diseño de 90 Millones de Ejes Equivalentes.
- Para la ampliación y mejoramiento de la vía se planteó la rehabilitación del pavimento existente mediante el reciclado in-situ de la capa asfáltica y capas granulares.



Nestor Gambetta Expressway - 2010

- Debido al alto nivel de tráfico y por la importancia de la vía, se planteó la necesidad de diseñar un pavimento de alta performance, considerando la filosofía de un pavimento perpetuo.
- Para tal fin se consideró una estructura conformada por una capa granular de 30 cm de espesor, reciclada con cemento de alta resistencia, considerando el empleo de un aditivo en base a zeolitas sintéticas, y una capa de rodadura de 10 cm de espesor, con asfalto modificado con polímeros.
- Debajo de la capa reciclada quedaría un remanente de las capas granulares existentes.
- No se consideró disturbar el suelo de fundación.



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ ALTERNATIVA DE PROYECTO

- ▣ Durante la fase de construcción se planteó un diseño de pavimento considerando la siguiente estructuración:
 - CARPETA DE RODADURA ($e=13$ cm)
 - TRATAMIENTO ASFALTICO MONOCAPA (SAMI)
 - CAPA BASE GRANULAR TRATADA CON 2% DE CEMENTO ($e=20$ cm)
 - CAPA SUB-BASE GRANULAR CON 2 % DE CEMENTO ($e=20$ cm)
 - MEJORAMIENTO DEL SUELO
- ▣ Las especificaciones de construcción establecen una resistencia a la compresión máxima de 2 MPa a los 28 días.
- ▣ Contenido de cemento 40 kg/cm³



Nestor Gambetta Expressway - 2012

- ▣ La carpeta asfáltica existente es fresada y eliminada.
- ▣ Los materiales granulares existentes son tratados en planta para mejorar la granulometría.
- ▣ La dosificación del cemento y agua se efectúa con planta de suelos.
- ▣ La colocación de los materiales se efectúa con terminadora de asfalto.



Nestor Gambetta Expressway - 2012

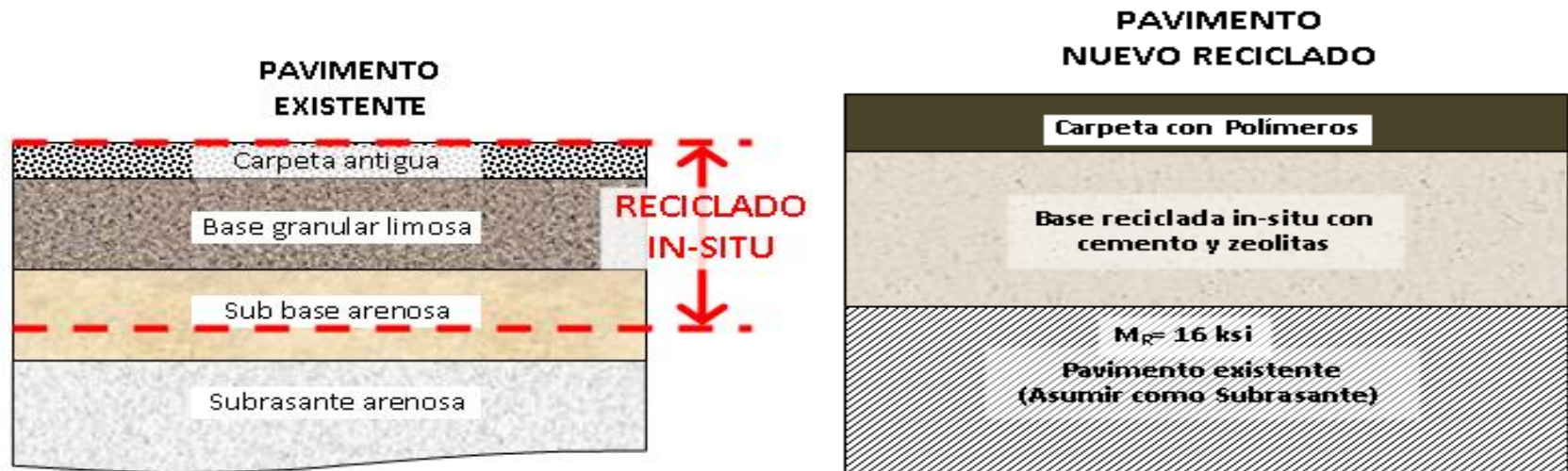
□ MODELACION MECANISTICA (Alternativa proyecto)

Carpeta asfáltica (e=13 cm)	E=31,600 kg/cm ² (3,089 MPa)
Base Cementada (e=20 cm)	E=40,778 kg/cm ² (4,000 MPa)
Subbase Cementada (e=20 cm)	E=40,778 kg/cm ² (4,000 MPa)
Suelo (CBR=16%)	E=1,254 kg/cm ² (127 MPa)



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ ALTERNATIVA CON ZEOLITAS SINTETICAS



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ MODELACION MECANISTICA (Alternativa con Zeolitas Sintéticas)

Carpeta Polímeros (e=10 cm) $\varepsilon_t = 19.3 \times 10^{-6}$	E=82,700 kg/cm ² (8,110 MPa)
Base Reciclada con Cemento y Zeolitas (e=35 cm) $\sigma_t = 0.195 \text{ MPa} = 27.86 \text{ psi}$ $\varepsilon_c = 63.6 \times 10^{-6}$	E=58,600 kg/cm ² (5,750 MPa)
Suelo (CBR=10%)	E=1,122 kg/cm ² (110 MPa)



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ MODELACION MECANISTICA (FUNCIONES DE TRANSFERENCIA)

- ▣ Criterio de Agrietamiento por Fatiga en la Carpeta Asfáltica (función de transferencia desarrollada por el Asphalt Institute)

$$N_f = 0.0796(\varepsilon_t)^{-3.291}(E_1)^{-0.854}$$

- ▣ Criterio de Agrietamiento por Fatiga en la Base Reciclada Cementada con adición de zeolitas (función de transferencia tomada de la Guía Empírico-Mecánica de diseño de Pavimentos AASHTO 2008)

$$\log N_f = \frac{0.972 \beta c_1 - \frac{\sigma_t}{MR}}{0.0825 \beta c_2}$$



Nestor Gambetta Expressway - 2012

- **MODELACION MECANISTICA (FUNCIONES DE TRANSFERENCIA)**
 - ▣ **Criterio de Deformación Permanente (Ahuellamiento) en la Subrasante (función de transferencia desarrollada por el Asphalt Institute)**

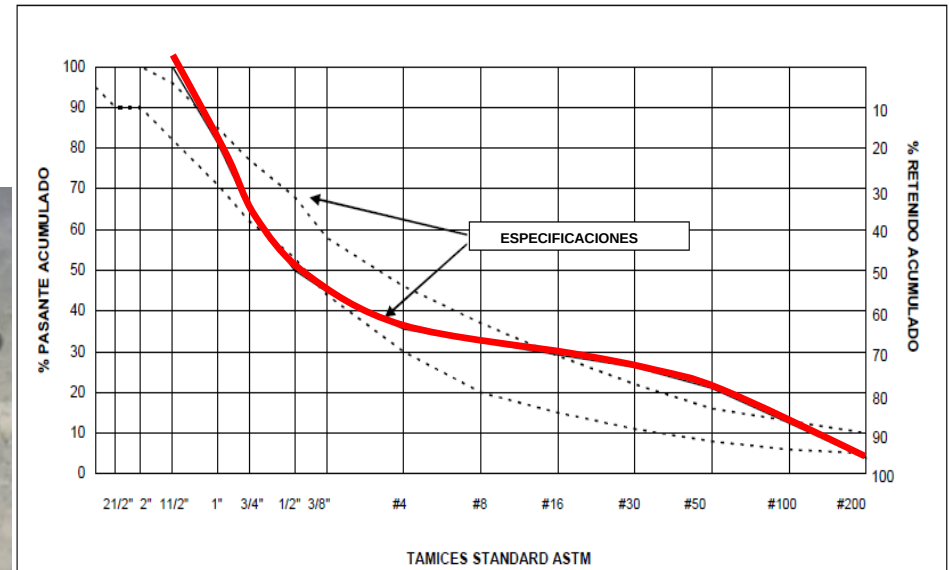
$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4.477}$$

- **En todos los casos los tráficos de falla resultaron inferiores al tráfico de diseño.**



Nestor Gambetta Expressway - 2012

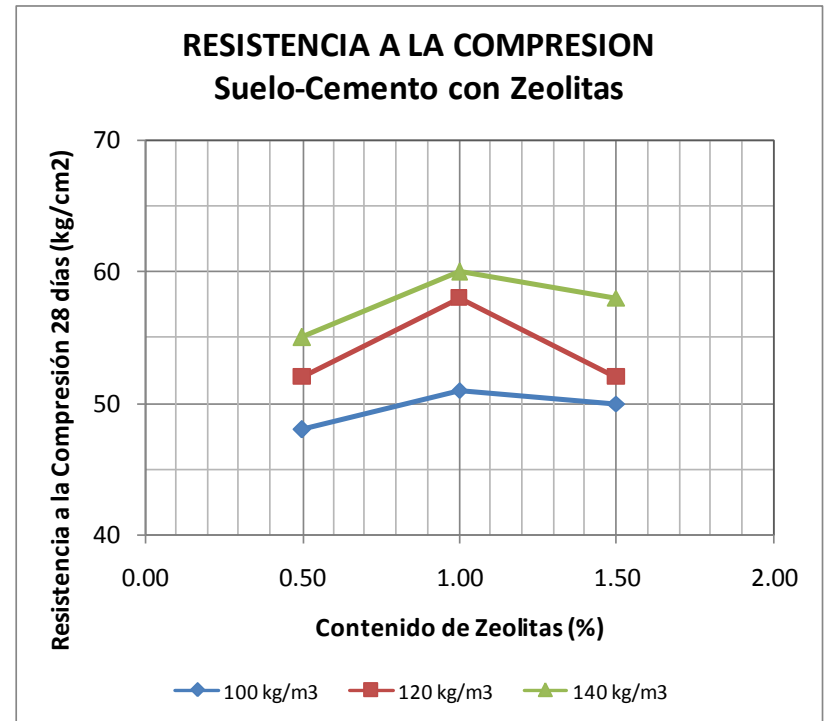
DOSIFICACION DEL CEMENTO Y ZEOLITAS



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ DOSIFICACION DEL CEMENTO Y ZEOLITAS

De acuerdo a ensayos de laboratorio efectuados con materiales del proyecto de la Av. Nestor Gambetta, considerando diversas dosificaciones de cemento y zeolitas, se encontró que con un contenido de 140 kg/m³ de cemento es posible obtener una resistencia a la compresión simple de $f'_c=60$ kg/cm² a los 28 días



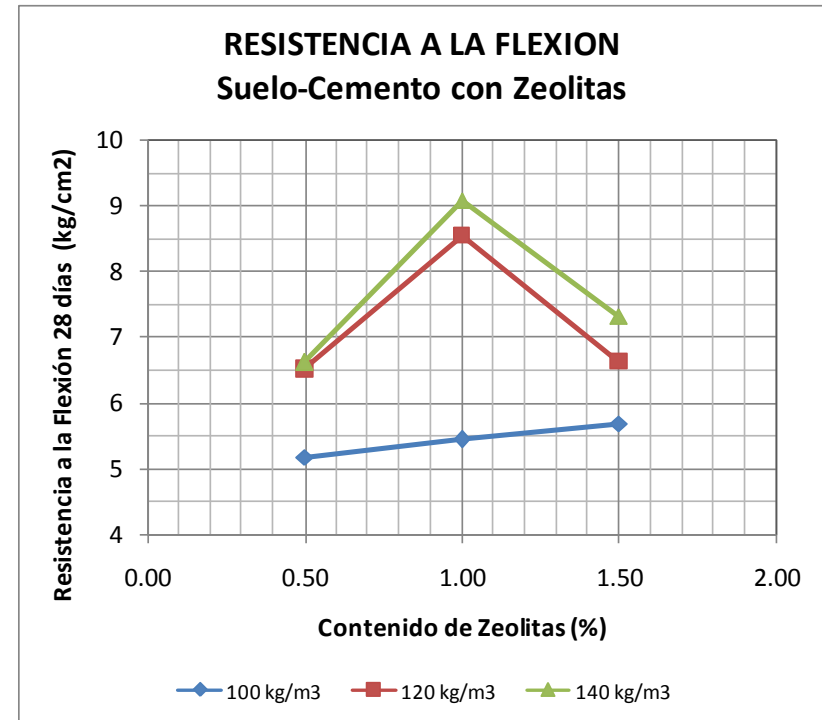
Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ DOSIFICACION DEL CEMENTO Y ZEOLITAS

También se encontró, en resultados puntuales, que con el empleo de zeolitas es factible incrementar la resistencia a la flexión del material estabilizado hasta en un 100% de los valores obtenidos convencionalmente ($S'_c = 0.20 f'_c$)

Sin embargo, para fines de diseño el Módulo de Ruptura del material se ha considerado conservadoramente igual a $S'_c = 0.15 f'_c$.

El Optimo contenido de Zeolitas determinado fue 1%.



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ APLICACIÓN DE LA SOLUCION



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ APLICACIÓN DE LA SOLUCION



FRESADO Y MEZCLADO DE CARPETA CON MATERIAL DE BASE EXISTENTE



APLICACIÓN DE ZEOLITAS Y MEZCLADO CON EL MATERIAL RECICLADO



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ APLICACIÓN DE LA SOLUCION



NIVELACION Y PRE-COMPACTACION DEL MATERIAL TRATADO CON ZEOLITAS



APLICACIÓN DE CEMENTO, MEZCLADO, NIVELACION Y COMPACTACION



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ APLICACIÓN DE LA SOLUCION



APLICACIÓN DE IMPRIMACION A LOS 2 DIAS



Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ MONITOREO DEL PAVIMENTO

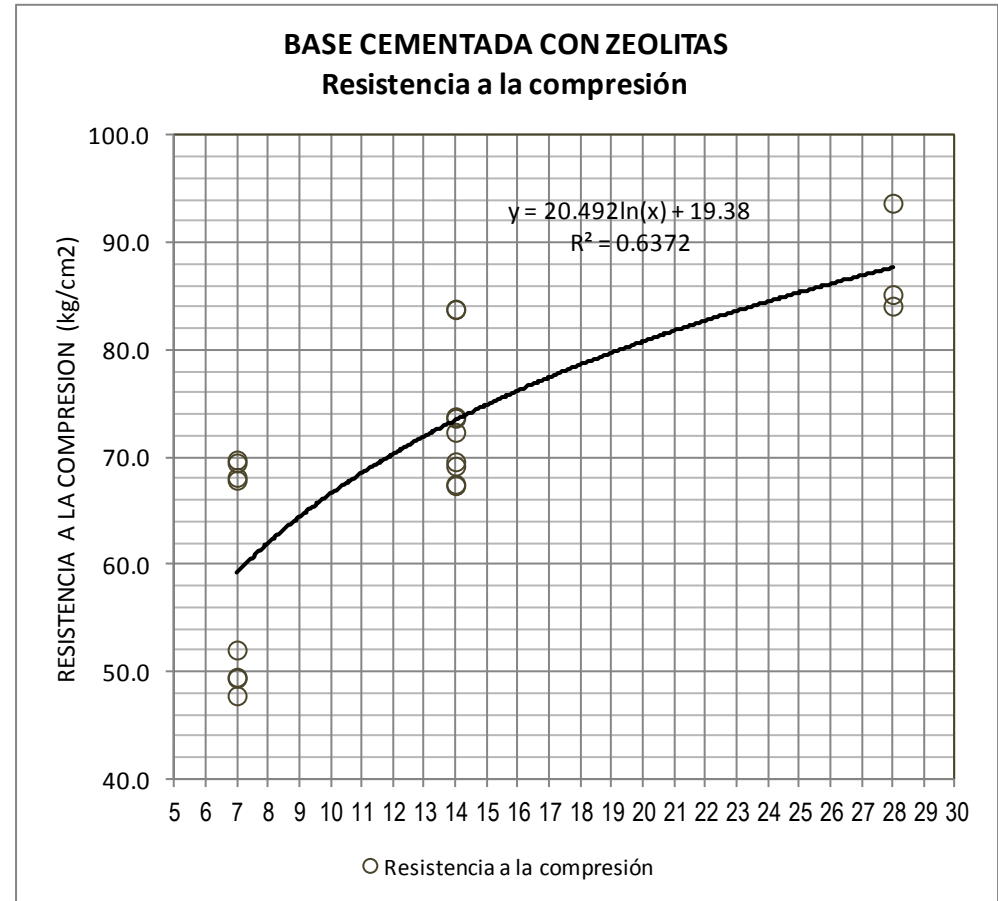


Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ MONITOREO

RESISTENCIA A LA COMPRESION

(Con muestras moldeadas in-situ)

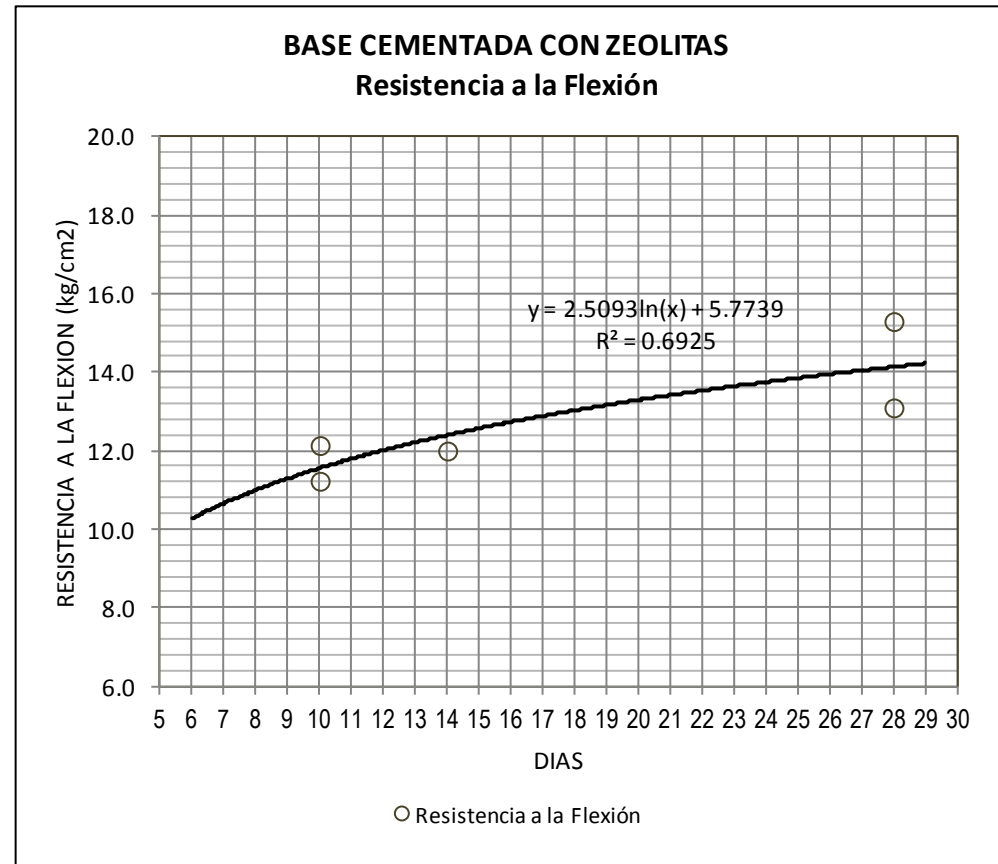


Nestor Gambetta Expressway - 2012

□ MONITOREO

RESISTENCIA A LA FLEXION

(Con muestras moldeadas in-situ)



Nestor Gambetta Expressway - 2012

EVALUACION ESTRUCTURAL IN-SITU

Se hicieron ensayos con un deflectómetro de Impacto KUAB, y se determinaron los módulos del suelo (Esg) y de la base cementada (Ebase) por retro-cálculo. Los Módulos se expresan en MPa como Percentil 30.

DISEÑO	TRAMO (km)	EDAD (Días)	Esg (MPa)	Ebase (MPa)
Proyecto	1+000	10	250	791
Proyecto	11+400	10	214	1,255
Zeolitas	16+400	12	200	4,268
Zeolitas	16+400	75	275	4,700



Aplicaciones en Aeropuertos

- REHABILITACION DE LA PISTA DE TAXEO DEL AEROPUERTO EL DORADO (Bogotá, Colombia)
 - ▣ DISEÑO DEL PAVIMENTO
 - CARPETA ASFALTICA CONVENCIONAL ($e=15$ cm)
 - BASE RECICLADA ($e= 35$ cm)
 - ▣ DOSIFICACION
 - CEMENTO: 170 kg/m^3
 - ZEOLITAS SINTETICAS: $1.7/\text{m}^3$



Aplicaciones en Aeropuertos

- REHABILITACION DE LA PISTA DE TAXEO DEL AEROPUERTO EL DORADO (Bogotá, Colombia)
 - La construcción se llevó a cabo en Mayo del año 2,000
 - Se emplearon motoniveladoras para el mezclado del material granular existente, con las zeolitas y el cemento (No habia disponibilidad de recicladoras).
 - La construcción se ejecutó en dos capas, una inferior de 20 cm y otra superior de 15 cm.
 - La Resistencia a la Compresión fue 80 kg/cm² (28 días)



Aplicaciones en Aeropuertos

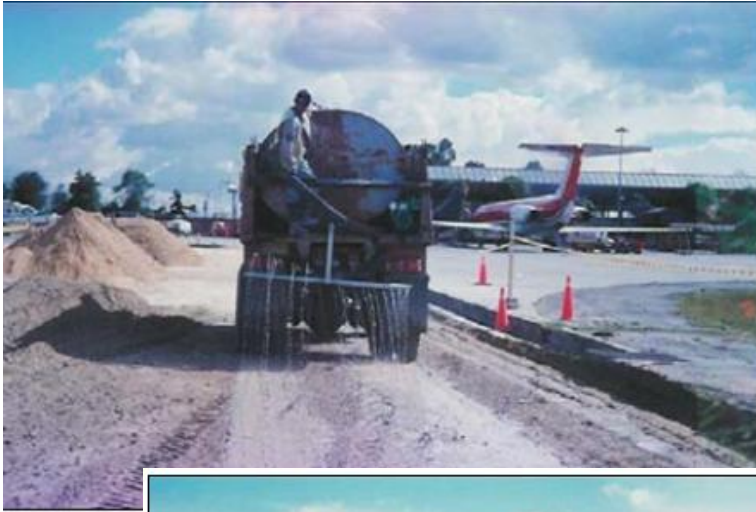
- REHABILITACION DE LA PISTA DE TAXEO DEL AEROPUERTO EL DORADO (Bogotá, Colombia)
 - El diseño del pavimento se basó en la aeronave McDouglas 83, de 160,000 libras de masa, y para 200,000 repeticiones, para un periodo de 5 años libre de mantenimiento.
 - Seis años después de uso intensivo (2,006) la pista de taxeo mantenía un excelente estado.



Aplicaciones en Aeropuertos



Aplicaciones en Aeropuertos



CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en la investigación sobre el empleo de materiales tratados con cemento, para la construcción de pavimentos de alta performance, demuestran que ello es posible mediante el empleo de aditivos que permiten superar las limitaciones tradicionales de dicha tecnología.
- Los aditivos alcalinos del tipo zeolitas sintéticas, permiten optimizar el proceso de hidratación del cemento, lo que posibilita alcanzar estructuras de cristalización muy competentes, que se traduce en capas tratadas de alta resistencia y adecuada flexibilidad.



CONCLUSIONES

- Con el empleo de esta solución, también llamado de concreto zeolítico, es posible eliminar completamente el fisuramiento por contracción de fragua, siempre que los procesos sean correctamente desarrollados.
- Mediante el mejoramiento de la tecnología, es posible incrementar la resistencia de las capas de 4 a 5 veces, obteniendo ganancias estructurales que pueden ser aprovechadas cuando se requiere soluciones muy competentes, como es el caso de los pavimentos aeroportuarios.



CONCLUSIONES

- El empleo de aditivos zeolíticos permite además el empleo de materiales marginales, toda vez que la performance del producto estabilizado no se basa mas en la calidad del material original, sino en la generación de una estructura de cementación mas competente, capaz de contener y encapsular al material.
- Este tema tiene una implicancia económica clave, sobre todo cuando hay poca disponibilidad de agregados, tradicionalmente adecuados.



CONCLUSIONES

- Para el caso de proyectos de rehabilitación, la posibilidad del reuso de los materiales, al no haber mas la limitación en cuanto a su calidad o las dudas en cuanto a la performance del producto terminado, permite al implementación de procesos de reciclado sumamente rápidos, económicos y ambientalmente amigables.
- Para el caso de aeropuertos en servicio, la rapidez en los procesos constructivos para la reparación de los pavimentos, es de una importancia fundamental.





MUCHAS GRACIAS!