ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Propiedades mecánicas de un diseño de hormigón compactado con pavimentadora y Fast Track trabajando en conjunto"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Cristian Alejandro Velasco Ochoa

Septiembre 2005

Contenido

Introducción

- El HCP debido a su mayor densificación y menor rel. a/c, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos
- Sin embargo por su textura no puede ser utilizado en vías tráfico rápido y autopistas.

Superficie del HCP

Superficie texturizable

Introducción

• Para no desaprovechar las bondades del HCP se han realizado pruebas con un hormigón combinado utilizando como base el HCP y como capa de rodadura un hormigón de menor espesor, Fast Track, el cual es posible texturizar.

Contenido

- Introducción
- Antecedentes
- Objetivos
- Proceso Constructivo
- Ventajas
- Aplicaciones

Antecedentes

- El origen del **HCP** se encuentra en el HCR, la fabricación de pavimentadoras con reglas de alto poder de compactación permitió el uso del **HCP** en Ecuador a partir del año 2000.

Antecedentes

- En cuanto al **Fast Track** las primeras experiencias comenzaron a fines de la década de los ochenta IOWA (EE.UU.), en donde se diseñó un hormigón capaz de ser puesto en servicio a las 24 horas

- La metodología **Fast Track** surge ante la necesidad de acortar los tiempos de habilitación al tránsito de los pavimentos y agilizar las tareas de reparación de los ya existentes mediante el procedimiento de sobrecapeo o refuerzos sobre pavimentos de hormigón

Antecedentes

Sobrecapeo o refuerzos sobre pavimentos de hormigón

Antecedentes

Propuesta C.T.H. = HCP + FT trabajando en conjunto

Simulando el papel de refuerzo adherido

Simulando el papel de pavimento existente

Contenido

- Introducción
- Antecedentes
- Objetivos
- Proceso Constructivo
- Ventajas
- Aplicaciones

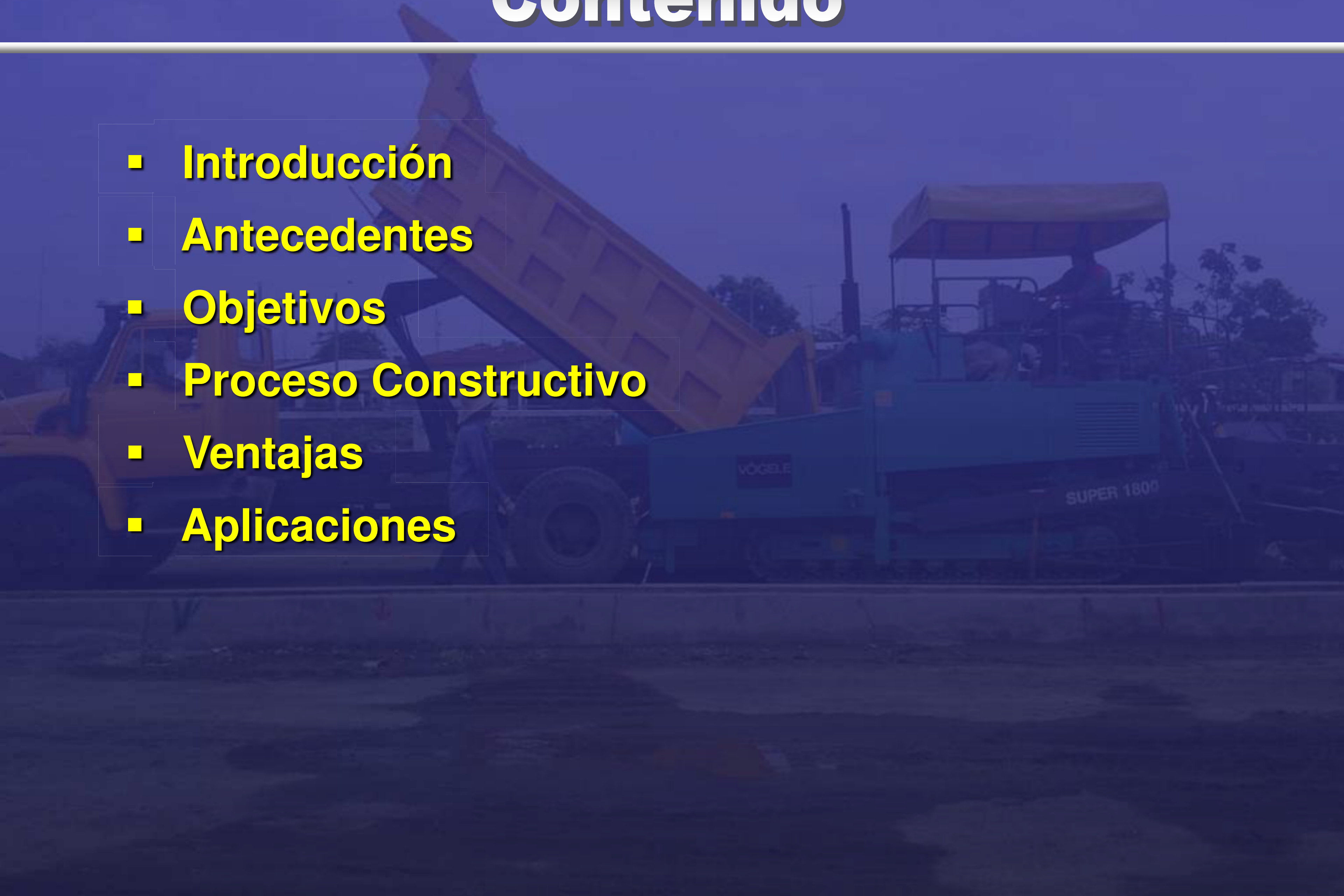
Objetivos

- ✓ Proporcionar una dosificación para HCP y FT actuando en conjunto.
- ✓ Verificar las Propiedades Mecánicas del diseño proporcionado.
- ✓ Dar a conocer y promover la factibilidad y confiabilidad de este sistema constructivo

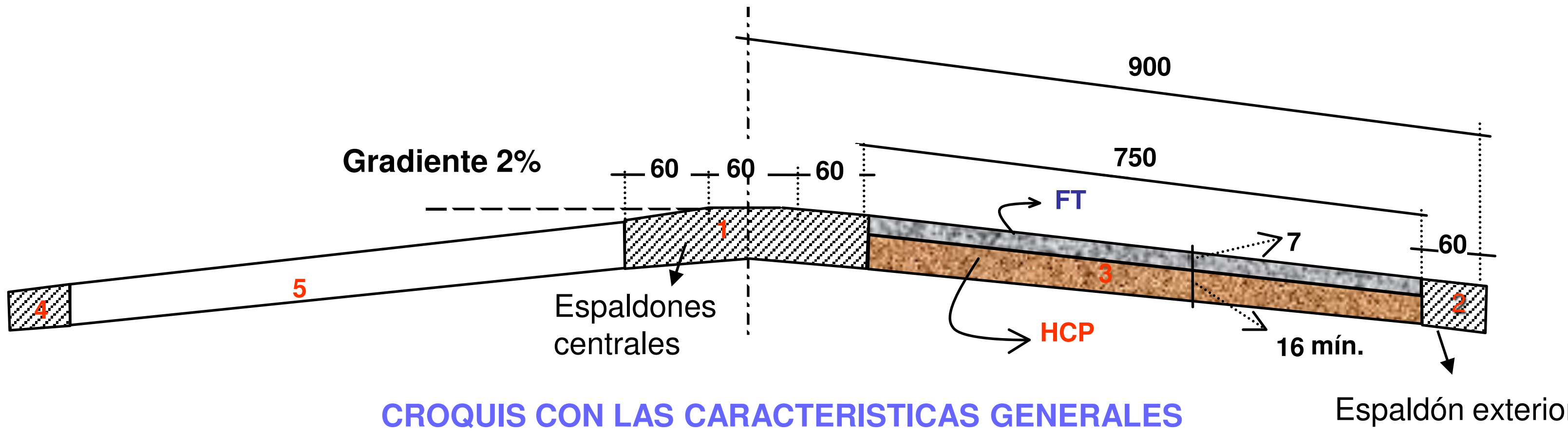
El cumplimiento de estos objetivos proporcionará una herramienta más para poder afrontar los problemas viales en nuestro País, al contar con esta innovadora técnica constructiva.

Contenido

- Introducción
- Antecedentes
- Objetivos
- Proceso Constructivo
- Ventajas
- Aplicaciones



Proceso Constructivo



CROQUIS CON LAS CARACTERISTICAS GENERALES DE LA VIA ESTACION DE PESAJE – ALOAG

ETAPA 1	**Colado de espaldones centrales** Vol = 1.80 x 0.30 = 0.54 m^3/m Longitud total = 3.000 m	1.620		
ETAPA 2	**Colado de espaldón lateral** Vol = 0.60 x 0.30 = 0.18 m^3/m x 3.000	540		
ETAPA 3 HCP FT	Vol = 7.50 x 0.23 = 1.73 m^3/m x 3.000 Vol = 7.50 x 0.07 = 0.53 m^3/m x 3000		1.575	5.175
ETAPA 4	Igual a Etapa 2	540		
ETAPA 5	Igual a Etapa 3		1.575	5.175
		2.700 m^3	3.150 m^3	10.350 m^3

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de HCP - Construcción de espaldones

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de HCP - Provisión del HCP

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de HCP - Pavimentadora colocando HCP

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de HCP - Compactación con rodillo vibratorio

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de HCP - Comprobación % compactación

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de HCP - Corte de Juntas

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de FT - Provisión del FT

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de FT

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de FT – Equipo de texturización

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de FT – Compuesto curador

Proceso Constructivo

Tendido de la Capa de FT – Corte y relleno de juntas

Proceso Constructivo

Trabajos posteriores

Vía terminada y abierta al tráfico

Contenido

- Introducción
- Antecedentes
- Objetivos
- Proceso Constructivo
- Ventajas
- Aplicaciones

Ventajas

- ✓ Los pavimentos ejecutados con este sistema pueden abrirse al tráfico en muy poco tiempo

- ✓ Sin incrementar los costos, se pueden construir pavimentos con la combinación de HCP + FT, que tengan las mismas características de rodadura de los pavimentos de hormigón convencional

- ✓ Su vida útil sobrepasa los 40 años con resistencia a la flexión de más de 4 – 4.5 MPa

- ✓ ***CALIDAD, RAPIDEZ, EFICIENCIA, ECONOMÍA***

Contenido

- Introducción
- Antecedentes
- Objetivos
- Proceso Constructivo
- Ventajas
- Aplicaciones

Aplicaciones

Las características del la tecnología HCP+FT permiten que este sistema constructivo pueda ser utilizado en:

- ✓ Calles
- ✓ Carreteras
- ✓ Autopistas
- ✓ Pistas de Aeropuertos
- ✓ Pavimentos Industriales
- ✓ Estacionamientos

Contenido

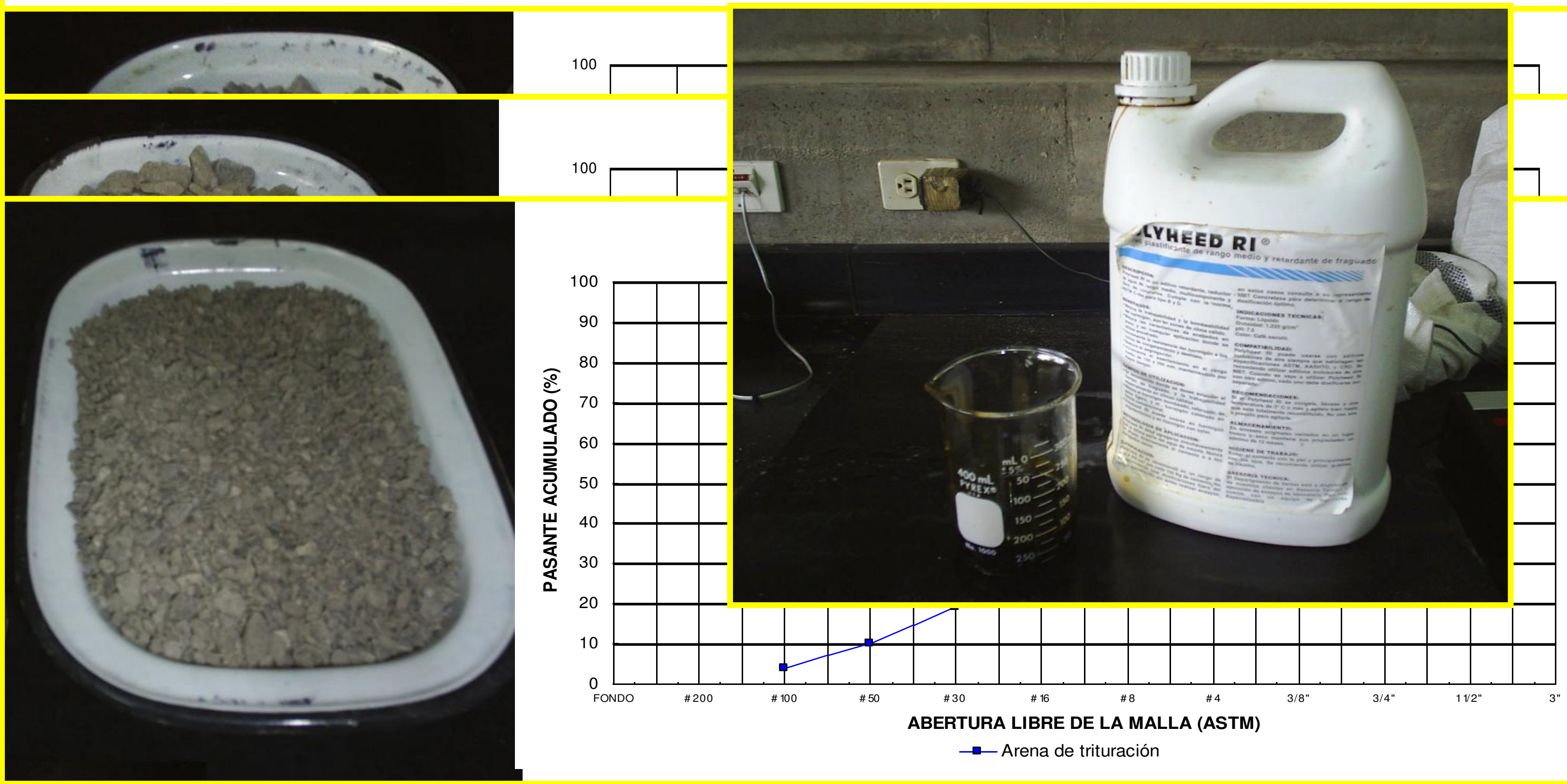
- Diseño del HCP
- Diseño del FT
- Propiedades Mecánicas del HCP, FT, HCP+FT
- Estudio Económico
- Conclusiones

Diseño del HCP

Materiales Empleados

- ✓ Cemento Pórtland Tipo IP (High Early)

- Desarrolla altas resistencias a la compresión a edades tempranas



Diseño del HCP

Preparación de los Agregados - Secado al aire

Diseño del HCP

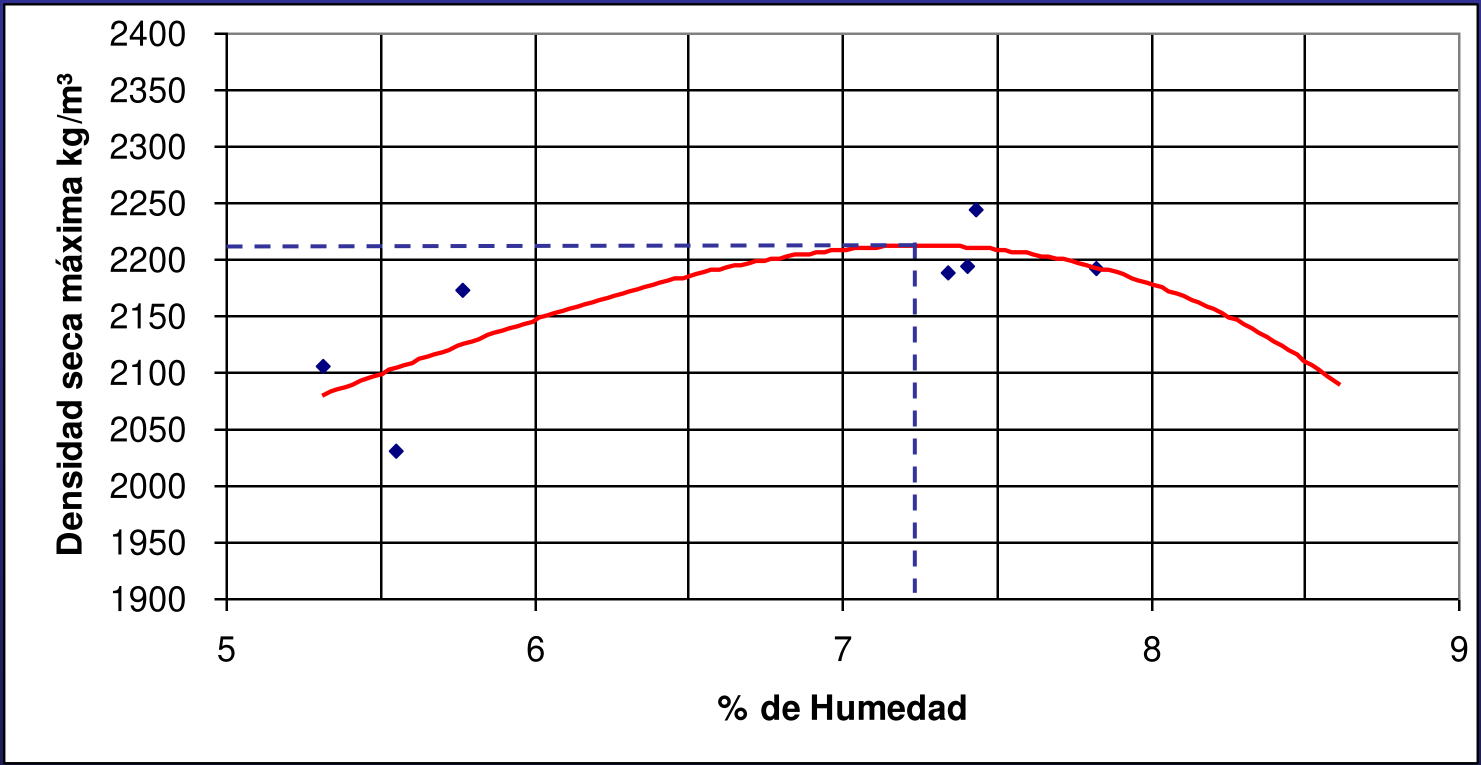
Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima

Dosificación	Kg/m^3	Contenido de agregados
Cemento IP (HE):	250	
Piedra No. 7	693	35,0%
Piedra No. 67	693	35,0%
Arena triturada:	594	**30,0%**
Polyheed RI	1% del contenido de cemento	

Ensayo Proctor ASTM D 1557-02

Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



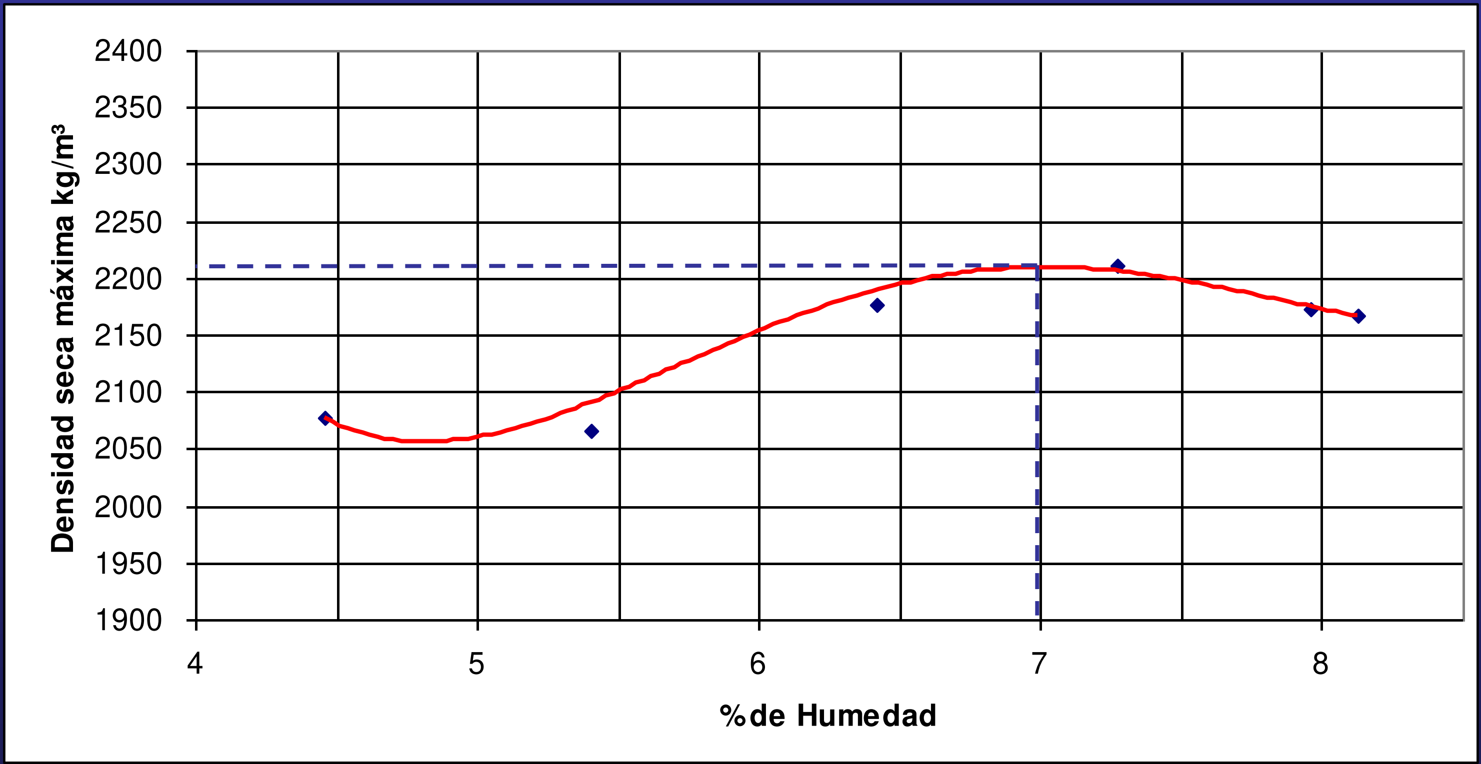
Densidad Seca Máxima : 2210 Kg./m3

Humedad Optima : 7,3 %

Cemento	:	250	Kg./m3	
Piedra No. 7	:	693	“	35%
Piedra No.67	:	693	“	35%
Arena Triturada	:	594	“	**30%**

Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



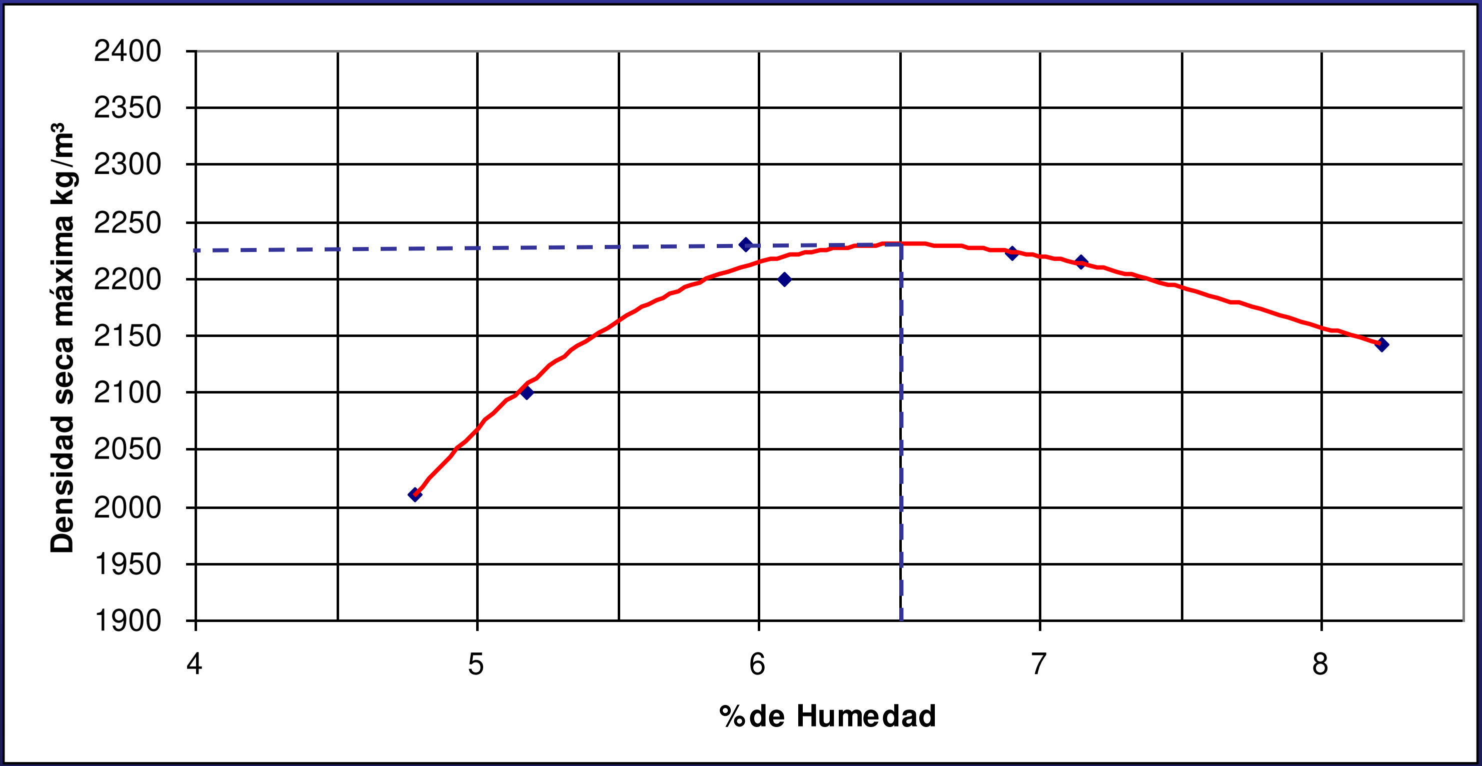
Densidad Seca Máxima : 2215 Kg./m3

Humedad Optima : 7 %

Cemento	:	250	Kg./m3	
Piedra No. 7	:	644	"	32,5%
Piedra No.67	:	644	"	32,5%
Arena Triturada	:	693	"	**35%**

Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



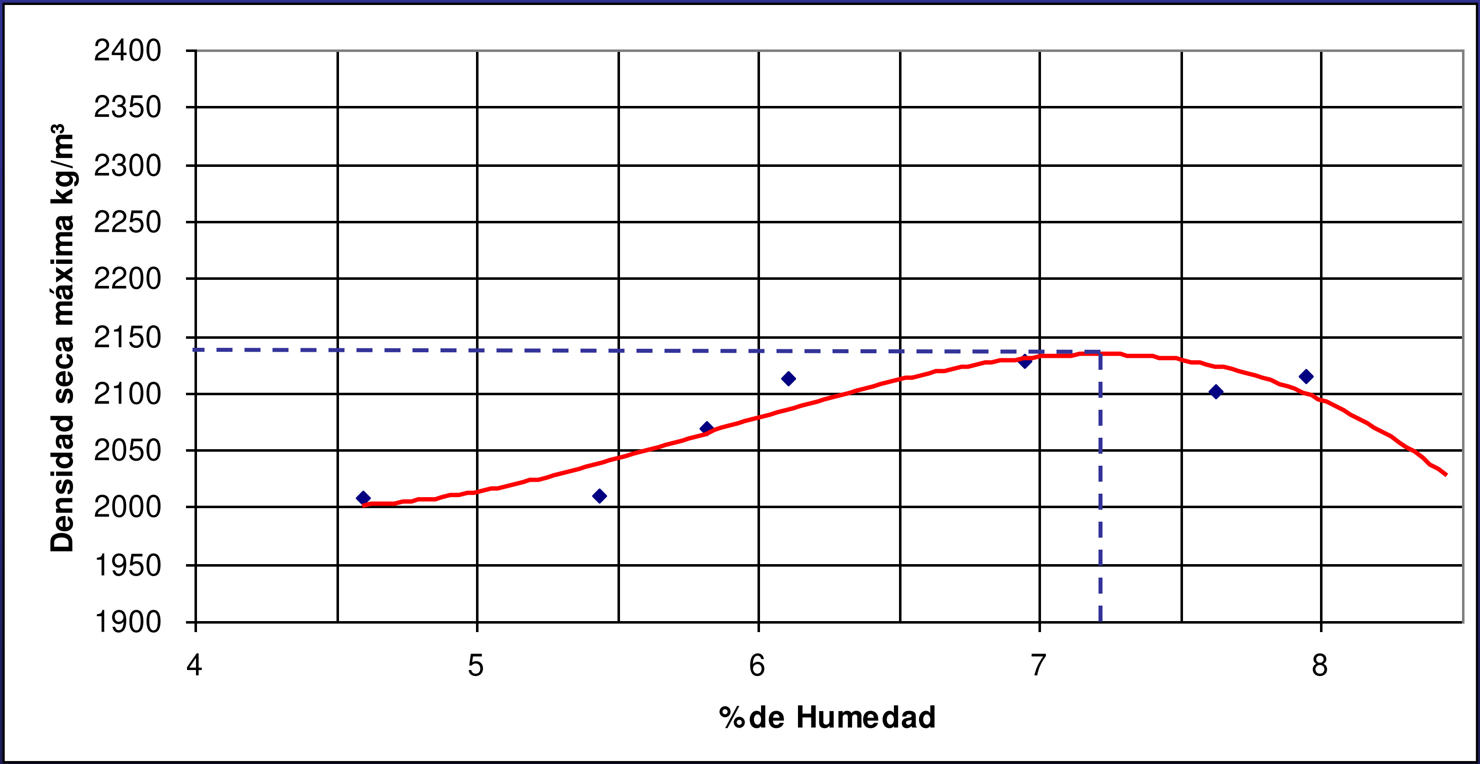
Densidad Seca Máxima : 2230 Kg./m3

Humedad Optima : 6,5 %

Cemento	:	250	Kg./m3	
Piedra No. 7	:	594	"	30%
Piedra No.67	:	594	"	30%
Arena Triturada	:	792	"	**40%**

Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



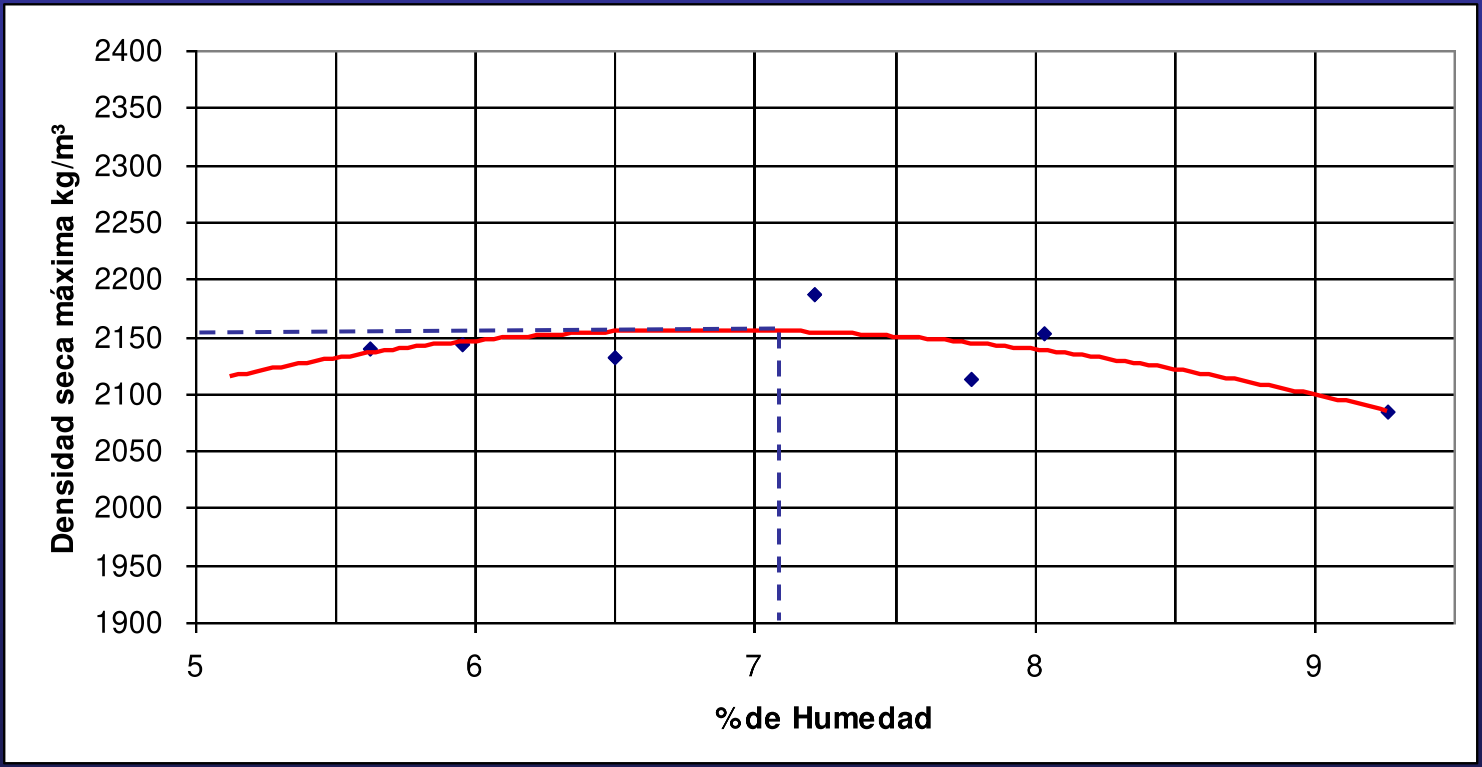
Densidad Seca Máxima : 2140 Kg./m3

Humedad Optima : 7,2 %

Cemento	:	250	Kg./m3	
Piedra No. 7	:	495	“	25%
Piedra No.67	:	495	“	25%
Arena Triturada	:	990	“	**50%**

Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



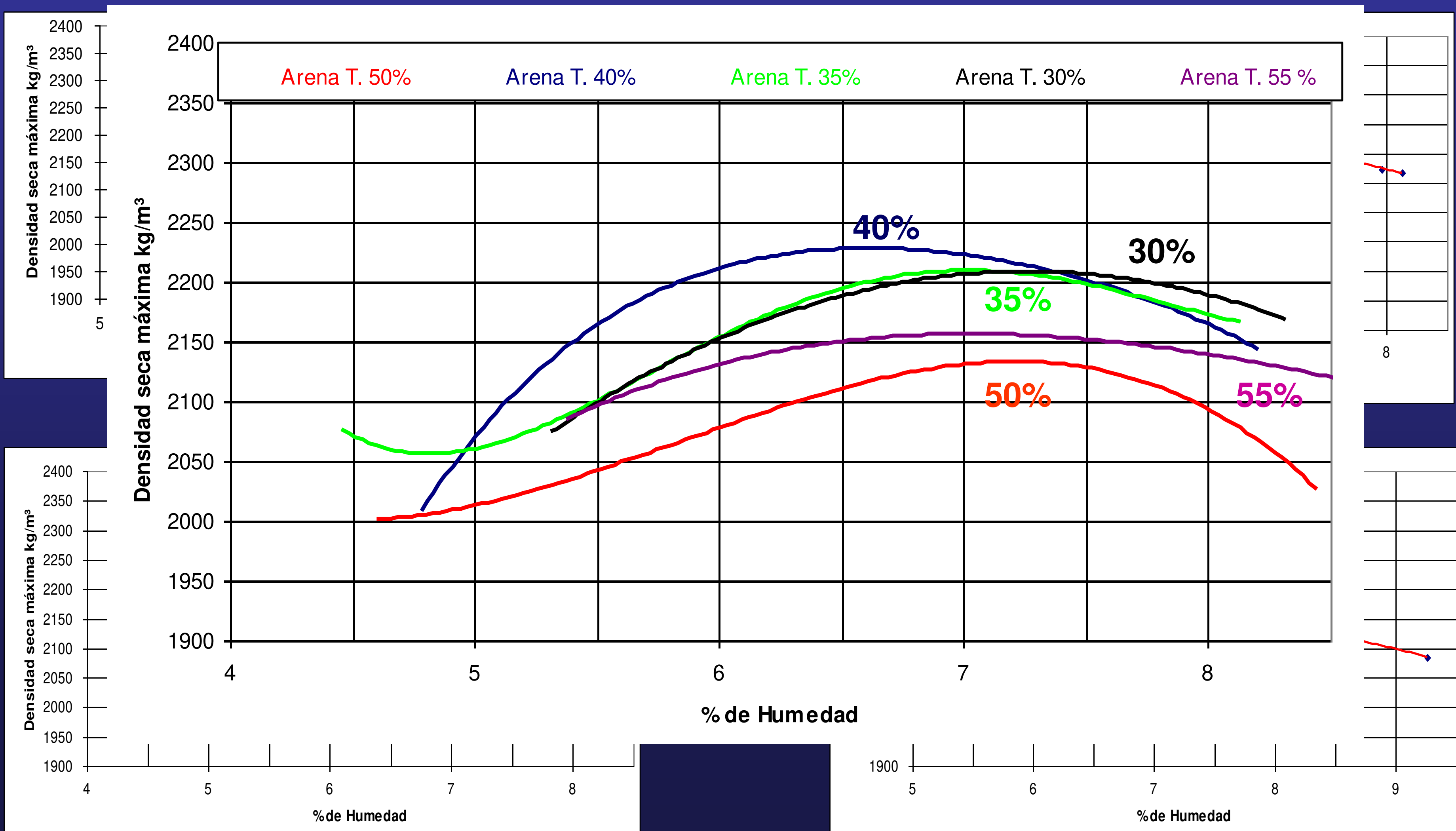
Densidad Seca Máxima : 2150 Kg./m3

Humedad Optima : 7,2 %

Cemento	: 250	Kg./m3	
Piedra No. 7	: 445,5	"	22,5%
Piedra No.67	: 445,5	"	22,5%
Arena Triturada	: 1089	"	**55%**

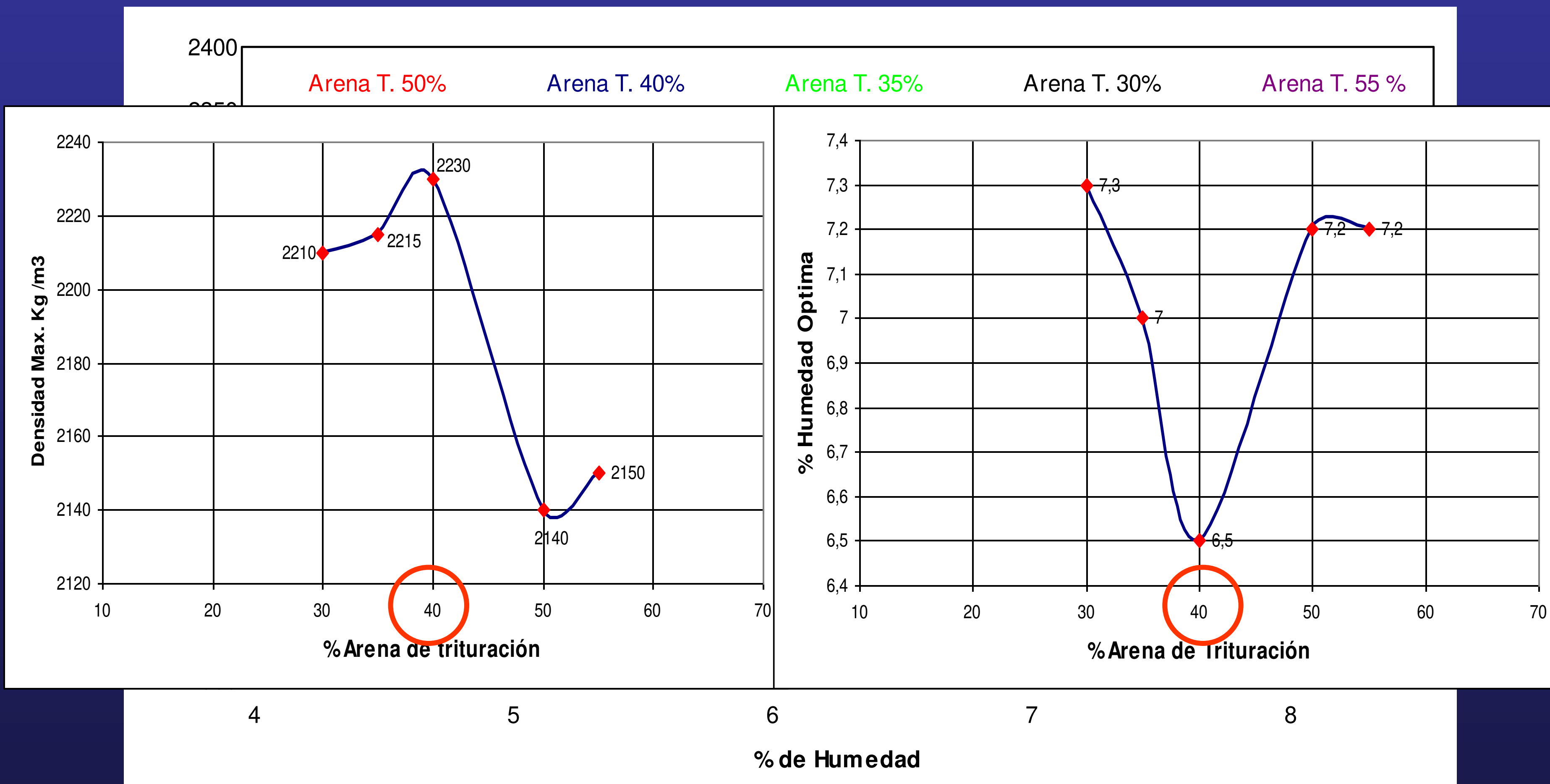
Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



Diseño del HCP

Determinación % arena triturada, densidad seca máx., humedad óptima



Diseño del HCP

Dosificación	kg/m³	Contenido de Agregados	% Absorción	
Cemento IP (HE):	250		**%**	**Kg/m³**
Piedra No. 7:	591	30,00%	1,5	8,9
Piedra No. 67:	591	30,00%	1,5	8,9
Arena triturada:	788	40,00%	3,0	23,6
Densidad Campo:	2220		**TOTAL**	**41,37**
Agua Total	144,3	Agua Efectiva=Agua Total - 41,37 Rel. a/c = 0,41		
Agua Efectiva	103			
Polyheed RI	1% del contenido de cemento			

Diseño del HCP

Tramo de Av. 17 de Septiembre utilizando HCP – 40% arena triturada

Diseño del HCP

Elaboración de Especimenes para caracterización

Procedimiento ASTM C1435-99 de Compactación de cilindros

Diseño del HCP

Elaboración de Especimenes para caracterización

Procedimiento de llenado de vigas con HCP

Diseño del HCP

Elaboración de Especimenes para caracterización

Procedimiento de llenado de viguetas de retracción con HCP

Contenido

- Diseño del HCP
- Diseño del FT
- Propiedades Mecánicas del HCP, FT, HCP+FT
- Estudio Económico
- Conclusiones

Diseño del Fast Track

Materiales Empleados

- ✓ Cemento Pórtland Tipo I
- ✓ Zeolita molida
- ✓ Arena Natural
- ✓ A
- ✓ P
- ✓ P
- ✓ H
- ✓ A

Diseño del Fast Track

Preparación de los agregados – Saturado superficialmente seco

Diseño del Fast Track

Dosificación	Kg/m³	Contenido de Agregados
Cemento tipo I:	450	
Piedra No. 7:	532,8	60%
Piedra No. 67:	355,2	40%
Arena triturada:	531,3	70%
Arena de río:	227,7	30%
Densidad	2097,0	
Zeolita	10% del contenido de cemento	
Hipermix	1,50 % del contenido de cemento	
Agua	130	Rel. a/c = 0,29

Diseño del Fast Track

Diseño del Fast Track

Dosificación	Kg/m³	Contenido de Agregados
Cemento tipo I:	450	
Piedra No. 7:	532,8	60%
Piedra No. 67:	355,2	40%
Arena triturada:	531,3	70%
Arena de río:	227,7	30%
Densidad	2097,0	
Zeolita	10% del contenido de cemento	
Hipermix	1,23 % del contenido de cemento	
Agua	130	Rel. a/c = 0,29

Diseño del Fast Track

Elaboración de Especimenes para caracterización

Procedimiento de llenado de cilindros de FT

Diseño del Fast Track

Elaboración de Especimenes para caracterización

Procedimiento de llenado de cilindros de FT

Diseño del Fast Track

Elaboración de Especimenes para caracterización

Procedimiento de llenado de vigas de FT

Diseño del Fast Track

Elaboración de Especimenes para caracterización

Viguetas de retracción de FT

HCP + FT

Elaboración de Especimenes para caracterización

Vigas de HCP+FT trabajando en conjunto

Contenido

- Diseño del HCP
- Diseño del FT
- Propiedades Mecánicas del HCP, FT, HCP+FT
- Estudio Económico
- Conclusiones

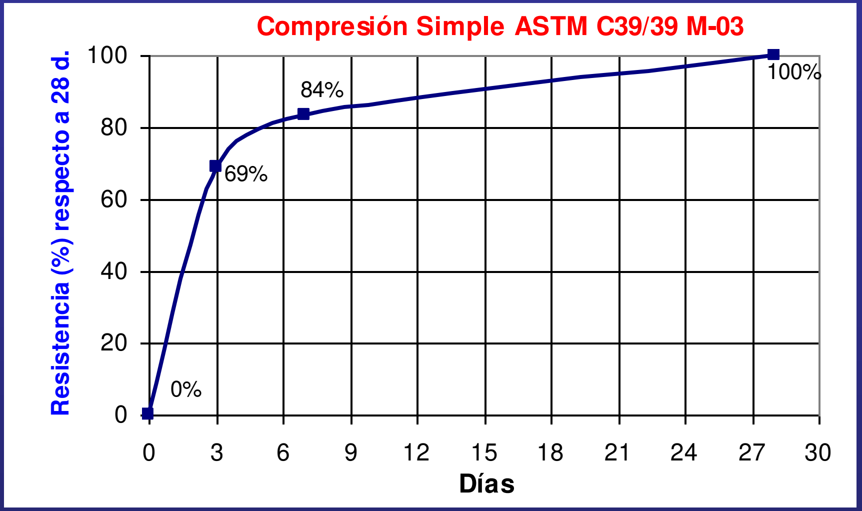
Evaluación de las propiedades Mecánicas

[illegible]

Propiedades Mecánicas del HCP

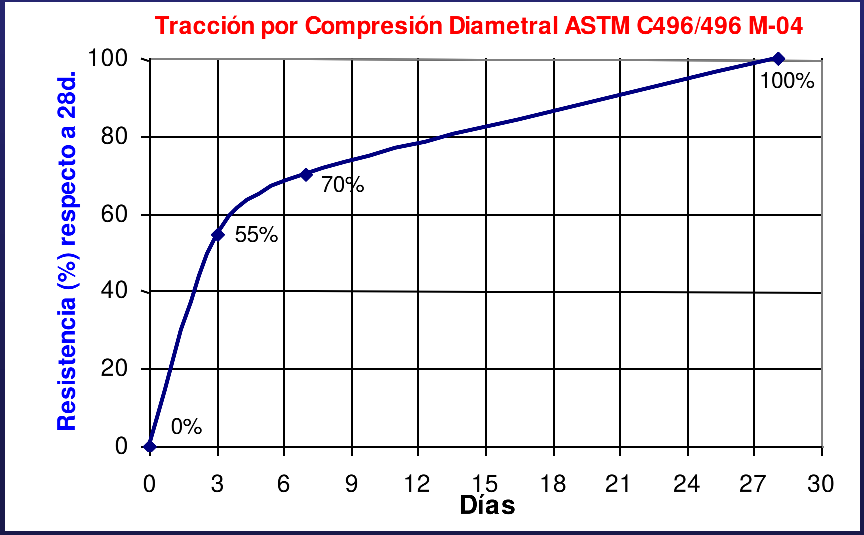
Resistencia a la Compresión

Edad (días)	Carga Rot. (kN)	Resistencia MPa.
3	272	16,0
7	343	19,4
28	408	23,3



Resistencia a la Tracción

Edad (días)	Carga Rot. (kN)	Resistencia MPa.
3	122	1,7
7	156	2,2
28	220	3,1



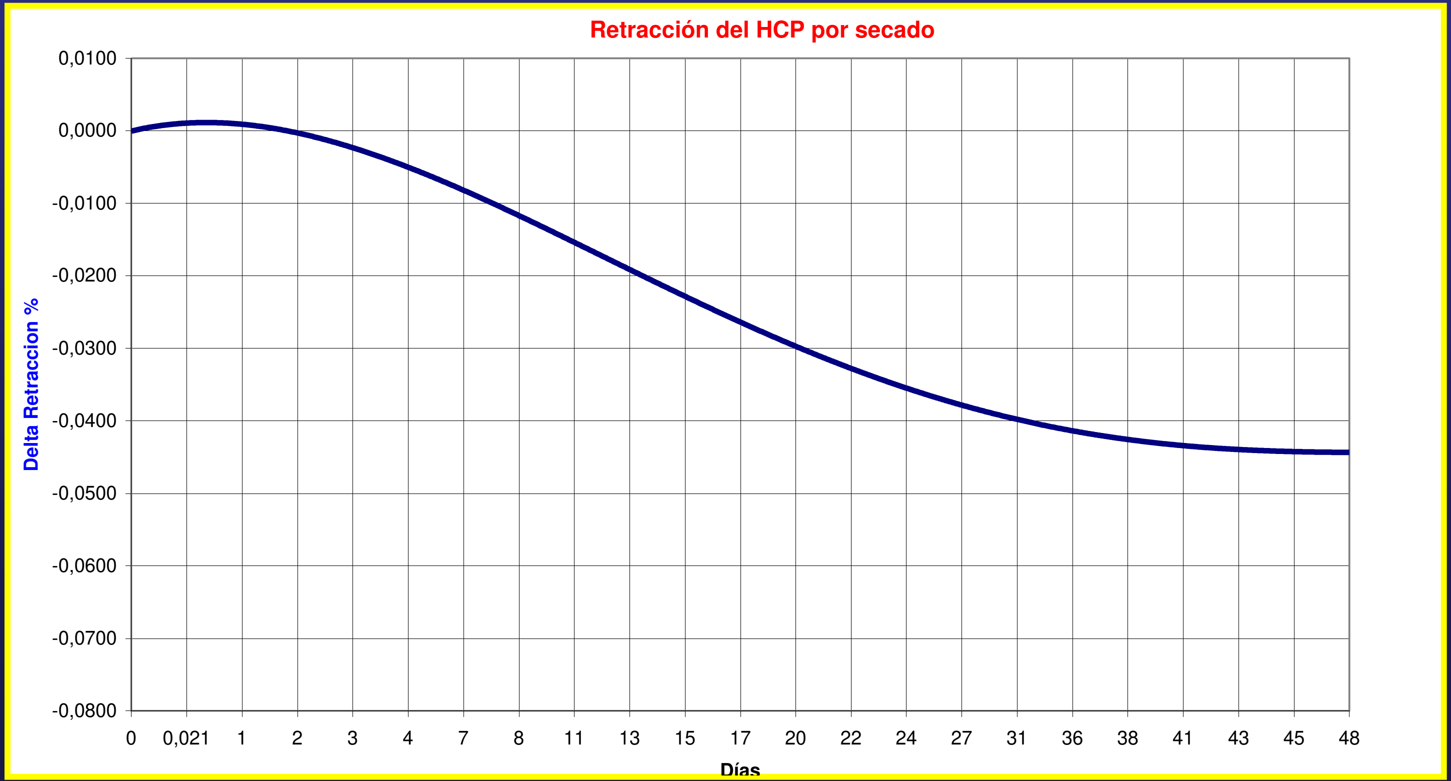
Propiedades Mecánicas del HCP

Resistencia a la Flexión

Edad (días)	Carga Rot. (kN)	MR. (MPa)
28	37	4,5

Modulo de elasticidad = 21,6 Gpa.

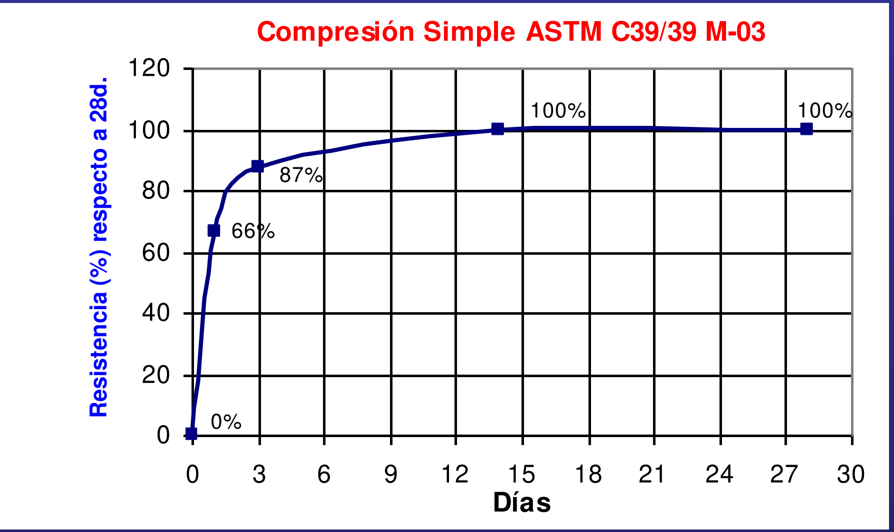
Retracción por secado= $440x10^{-6}$



Propiedades Mecánicas del Fast Track

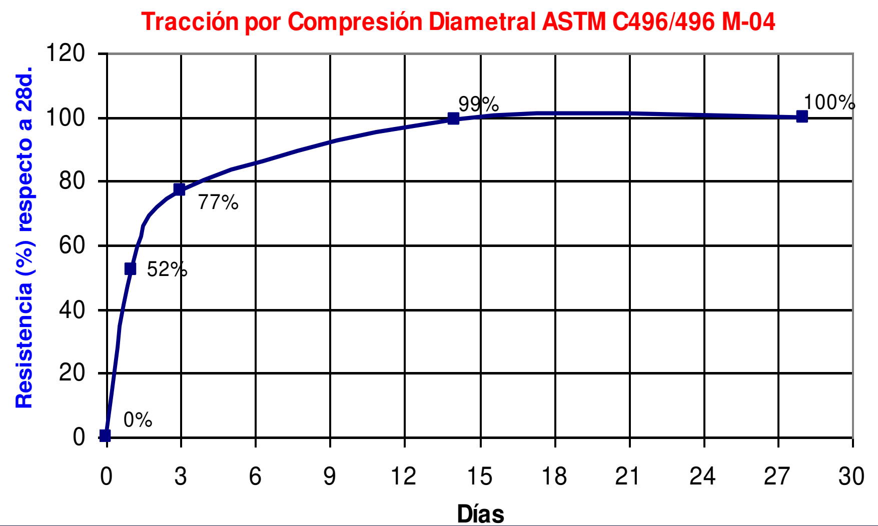
Resistencia a la Compresión

Edad (días)	Carga Rot. (kN)	Resistencia MPa.
1	326	39,8
3	430	52,6
7	420	53,5
28	542	69,0



Resistencia a la Tracción

Edad (días)	Carga Rot. (kN)	Resistencia MPa.
1	113	3,4
3	165	5,1
7	177	5,6
28	212	6,6



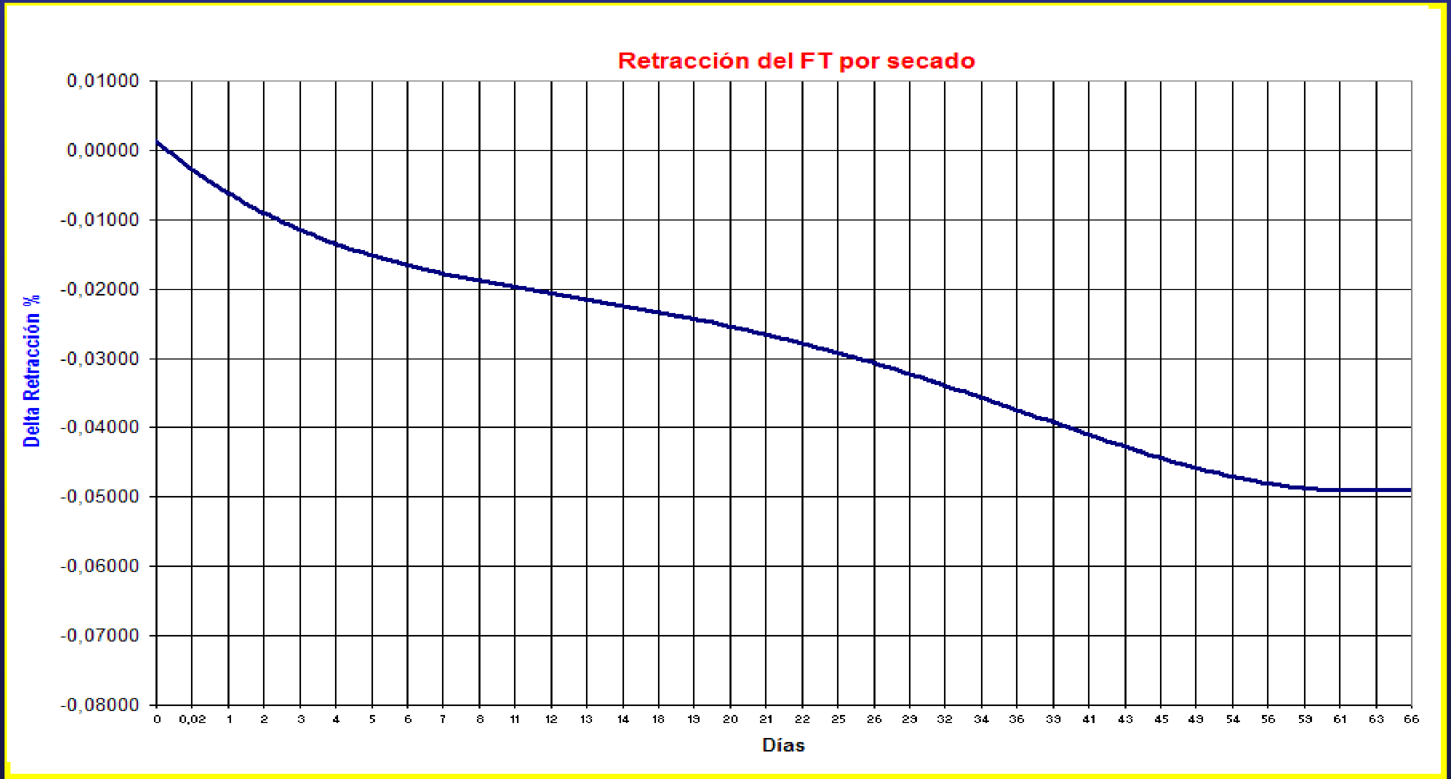
Propiedades Mecánicas del Fast Track

Resistencia a la Flexión

Edad (días)	Carga Rot. (kN)	MR. (MPa)
28	69,0	8,29

Modulo de elasticidad = 26,05 Gpa.

Retracción por secado= $485x10^{-6}$



Propiedades Mecánicas del HCP+FT

Resistencia a la Flexión

Edad (días)	Carga de Rot. (kN).	MR. (MPa)
1	21,59	2,64
3	31,65	3,93
7	33,73	4,32
28	43,30	5,34

Viga en posición de moldeo

Edad (días)	Carga de Rot. (kN)	MR. (Mpa)
1	40,13	5,18
3	49,13	6,01
7	52,35	6,41
28	55,06	6,57

Viga en posición invertida al moldeo

Propiedades Mecánicas del HCP+FT

Resistencia a la Tracción

Edad (días)	Carga de Rot. (kN).	Resistencia. (MPa)
1	59,96	2,49
3	70,20	2,89
7	82,70	3,44
28	90,15	3,77

	HCP	FT	HCP+FT
MR (MPa.)	4,53	8,29	6,57
TCD (MPa.)	3,1	6,63	3,77
MR/TCD	1,46	1,25	1,74

Factor de relación MR/TCD

Viga en posición invertida

Propiedades Mecánicas del HCP+FT

Para un HCP+FT con un

MR = **5,34** el esfuerzo de corte tangencial en la interfase es v = 1,22 MPa

Para un HCP+FT con un

MR = **5,34** → f'c = **50,3** MPa. → v_c = **2,13 MPa.**

2,13 MPa. > **1,4 MPa**.

Experiencias Europeas afirman que 1,4 MPa es suficiente para resistir los esfuerzos cortantes y garantizar que se mantiene la adherencia . (Ing. Carlos Joffre, Refuerzos de Pavimentos de concreto)

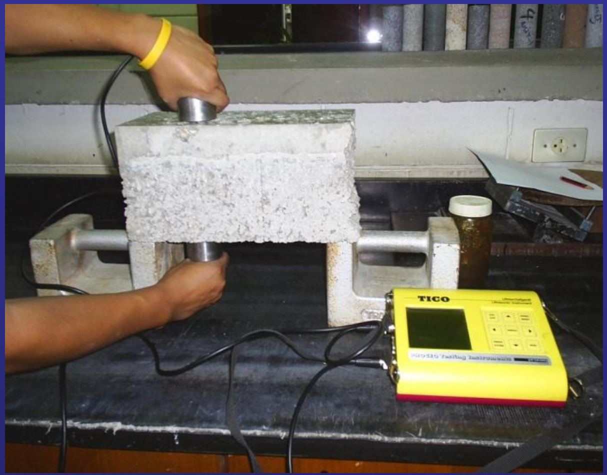
Retracción HCP = 4 40x10^{-6} , Retracción FT = 485x10^{-6} , Diferencial= 45x10^{-6}

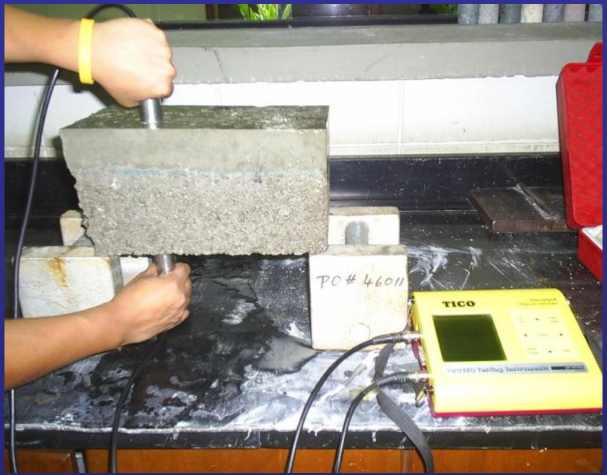
σ_t =82 kN/m2 = 0,082 MPa. < que el esfuerzo tangencial que soportan las probetas sometidas a flexotracción

Por gradiente térmico **σ_{tx}= 0.57 MPa + 0,082** = **0,652** < **1,4 MPa**. y < **2,13 MPa**.

Propiedades Mecánicas del HCP+FT

Ultrasonido en viga de HCP+FT en estado seco y saturado





Punto No.	Tiempo s.	Velocidad m/s
1	0,0000368	4080
2	0,0000357	4200
3	0,0000357	4200
4	0,0000365	4110
5	0,0000356	4210

Punto No.	Tiempo s.	Velocidad m/s
1	0,0000366	4110
2	0,0000364	4120
3	0,0000352	4260
4	0,0000356	4210
5	0,0000353	4250

✓ HCP+ FT es isótropo y monolítico

Contenido

- Diseño del HCP
- Diseño del FT
- Propiedades Mecánicas del HCP, FT, HCP+FT
- Estudio Económico
- Conclusiones

Estudio económico del HCP+FT

Presupuesto del diseño de HCP+FT (23 cm. espesor)

	Espesor (m)	kg/m3	lt/m3	$/kg	$/lt	$/m3	$/m2
HCP							
Cemento IP	0,16	250		0,084		21	3,36
Arena Trit.	0,16	788		0,006		4,58	0,73
Piedra No. 67	0,16	591		0,005		2,96	0,47
Piedra No.7	0,16	591		0,005		2,96	0,47
Aditivo	0,16		2,5		0,45	1,13	0,18
					subtotal	32,61	5,22
FT							
Cemento I	0,07	450		0,075		33,75	2,36
Arena Trit.	0,07	531,3		0,006		3,19	0,22
Arena Nat.	0,07	227,7		0,006		1,37	0,10
Piedra No.67	0,07	355,2		0,005		1,78	0,12
Piedra No.7	0,07	532,8		0,005		2,66	0,19
Aditivo	0,07	5,5		1,25		6,88	0,48
Curador						0,70	0,16
					subtotal	50,32	3,63
					TOTAL	**82,93**	**8,85**

Tipos de pavimentos	$/m3
Hormigón convencional* vibrado	**90,00**
HCP**	**88,48**
Carpeta Asfáltica*	**87,04**
HCP + FT**	**82,93**
Base Asfáltica*	**80,00**
Base Pétrea*	**19,30**
Subbase Pétrea*	**16,80**

* Precios unitarios enero 2000

** Precios unitarios agosto 2005

Contenido

- Diseño del HCP
- Diseño del FT
- Propiedades Mecánicas del HCP, FT, HCP+FT
- Estudio Económico
- Conclusiones

Conclusiones

- ✓ La ejecución del sistema constructivo HCP+FT es totalmente factible

- ✓ Los pavimentos realizados con este sistema tienen las mismas características pavimento rígido convencional, con la ventaja de poder abrirse al tráfico en muy poco tiempo

- ✓ Por su costo representa una alternativa conveniente para desarrollar proyectos viales

- ✓ Las propiedades mecánicas, tanto individuales como las HCP+FT son altamente satisfactorias

Conclusiones

- ✓ Una adecuada dosificación (60% agregado grueso – 40% arena triturada), produce una textura adecuada que garantice una perfecta adherencia en la interfase HCP-FT

- ✓ Al no requerir ligante alguno entre el HCP+FT es indispensable que el tiempo de colocación entre una capa y otra sea el menor posible

- ✓ Se comprobó mediante estudios analíticos y ensayos destructivos la total adherencia entre el HCP y el FT

- ✓ El sistema HCP+FT es monolítico e isótropo

HCP + FT

- ✓ CALIDAD, RAPIDEZ, EFICIENCIA, ECONOMÍA

Gracias por su atención