

# DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

## “DISEÑO Y DETERMINACIÓN DE UN ADOQUÍN PEATONAL CON MATERIAL DE RECICLAJE DE PIEZAS DE CERÁMICA VITRIFICADA DE LAVABOS E INODOROS”

**Tutor:** Ing. Durán Carrillo, José Ricardo

**Autores:** Bermeo Morales, Paul Alberto  
González Tiempos, Erika Alejandra  
Noroña Loza, Héctor Jordan  
Salazar Intriago, Jennery Pamela

Sangolquí, 01 de septiembre de 2022



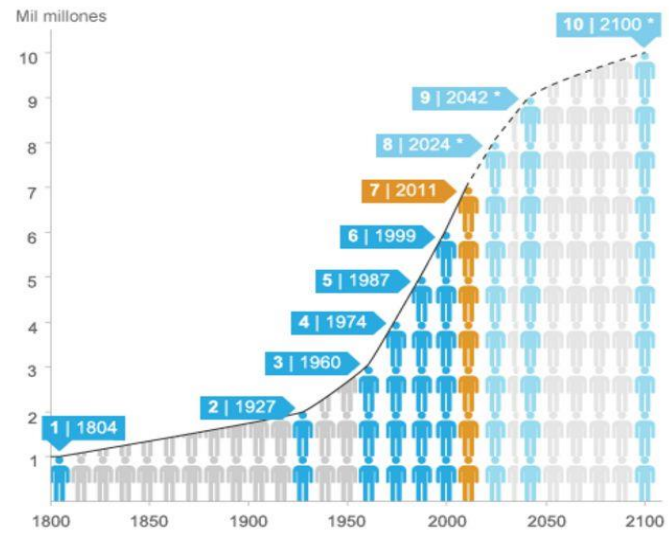
# Tabla de contenido

<b>01</b> Introducción	<b>02</b> Objetivos	<b>03</b> Marco Teórico
<b>04</b> Resultados	<b>05</b> Conclusiones	<b>06</b> Recomendaciones



## Planteamiento del problema

### Crecimiento de la población mundial: alcanzando 7 mil millones



\* Cifras poblacionales futuras basadas en las predicciones de la ONU con una variante media  
FUENTE: Fondo de Población de la ONU

### Crecimiento Poblacional



### Agotamiento de recursos



### Gestión de residuos



## Justificación

*Producción de aparatos sanitarios*



*Residuos cerámicos*



*Adoquines con incorporación de material cerámico reciclado*



## Alcance

*Determinar el porcentaje de cerámica óptimo adicionado a la mezcla de hormigón para obtener una resistencia a la compresión mayor o igual a 400 kg/cm<sup>2</sup> (39,23 MPa) y elaborar adoquines peatonales que cumplan con los requerimientos de calidad de la normativa vigente respecto a los ensayos de tracción indirecta y la resistencia a la abrasión.*

## Hipótesis

*El uso de cerámica sanitaria reciclada como agregado grueso en la mezcla de hormigón puede aportar a la obtención de una mejor resistencia y desgaste del adoquín.*





## Objetivos de la investigación

### Objetivo General

- Determinar la dosificación del cemento, áridos gruesos, arena, cerámica triturada y agua, para varias composiciones de mezcla, con agregado pétreo proveniente de la cantera de Pintag.

### Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de los materiales pétreos y residuos cerámicos para elaborar una adecuada dosificación.
- Dosificar hormigones de resistencia de  $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$ , con varias proporciones de cerámica triturada.
- Evaluar la influencia del uso de cerámica triturada en la resistencia y desgaste de adoquines
- Elaborar ensayos de tracción indirecta y resistencia a la abrasión de adoquines.



*Los adoquines son aquellos bloques macizos individuales que son habitualmente prefabricados con hormigón, los cuales son elaborados mediante un proceso de vibrocompactación*



También nombrada como porcelana vítrea por su composición, es una pasta blanca opaca, de alta resistencia, vitrificada y absorción de agua casi nula. Se usa en la fabricación de varios aparatos sanitarios.

Artículos vitrificados.

Baja absorción de agua  
(1%).

Alta resistencia.

Superficie lisa y  
esmaltada por  
limpieza.

Resistencia al trabajo  
duro.

Resistencia al ataque  
químico.

## *Residuos Sanitarios*

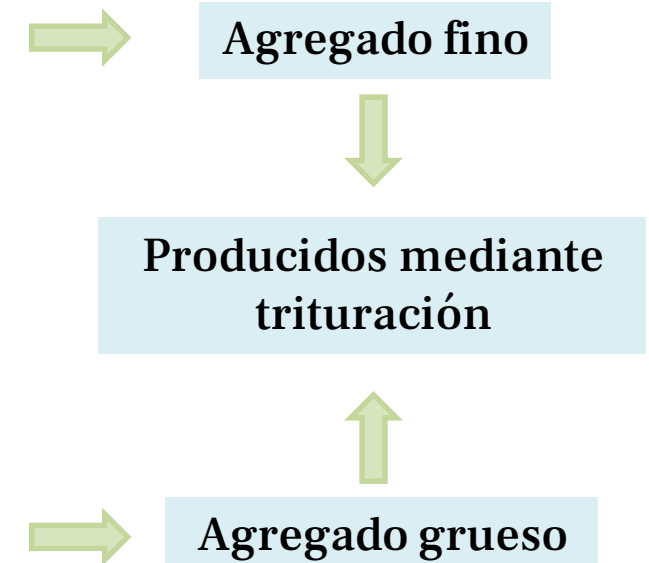




## Caracterización del agregado pétreo



Vista panorámica de la  
concesión minera REVTON  
S.A.

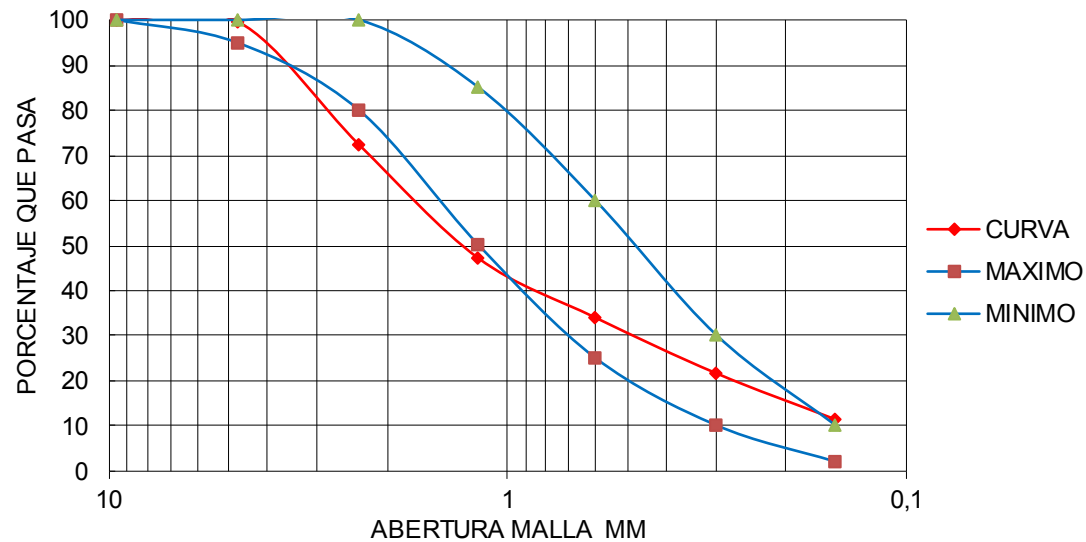


## Ensayos de los materiales: Análisis granulométrico

Agregado fino



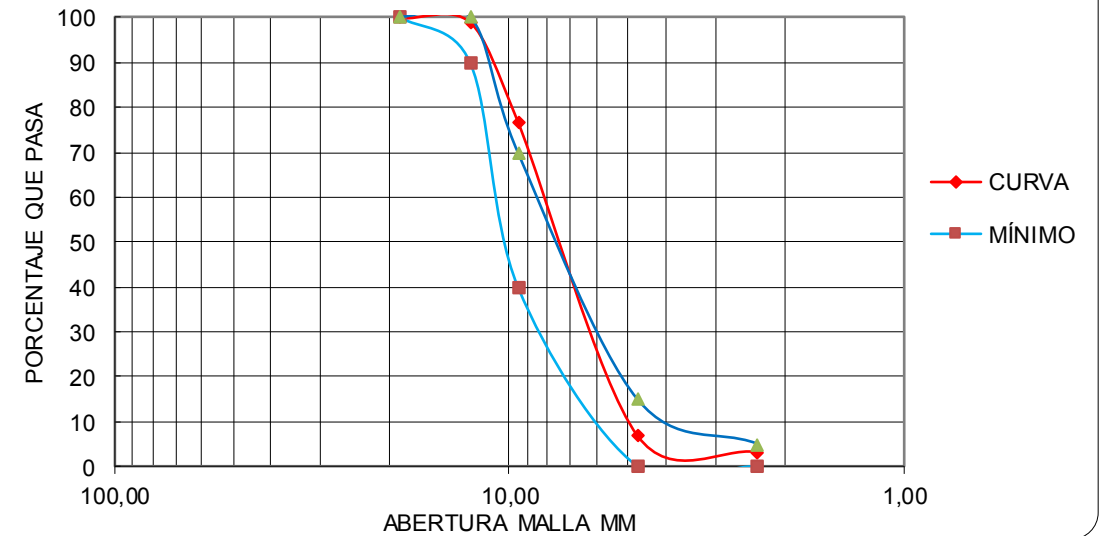
CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO



Agregado grueso



CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO



## Agregado fino

*Ensayos de los materiales: Contenido de humedad* $\% \text{ de agua} = 4,60$ 

## Agregado grueso

 $\% \text{ de agua} = 4,94$ *Ensayos de los materiales: Masa unitaria*

Suelta = 1,56



Compactada = 1,55



Suelta = 1,13



Compactada = 1,27

## Ensayos de los materiales: Densidad y absorción

### Agregado fino



Densidad  
aparente y  
absorción

2,64  
g/cm<sup>3</sup>



1,97%



### Agregado grueso

Densidad  
aparente y  
absorción



2,53  
g/cm<sup>3</sup>



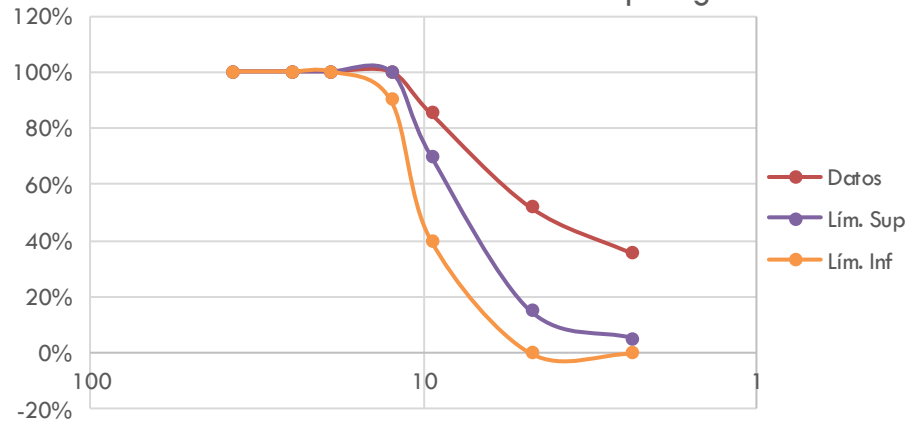
3,60%



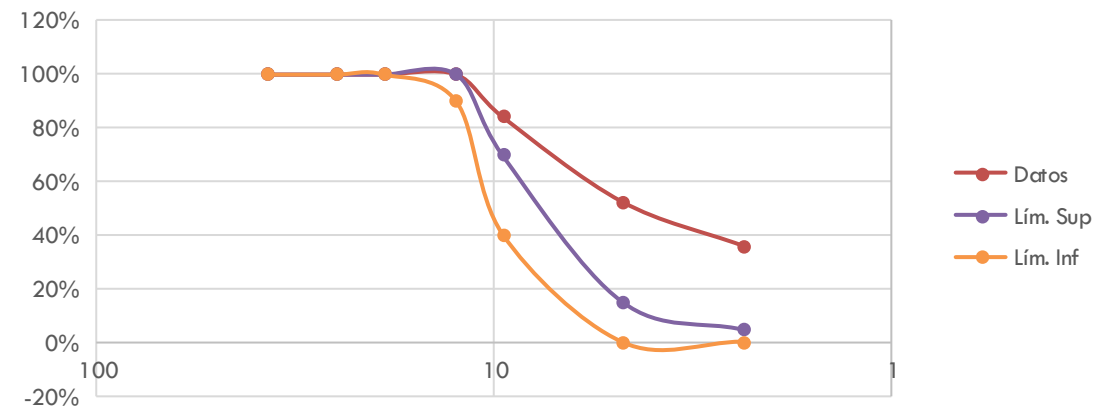
# Triturado



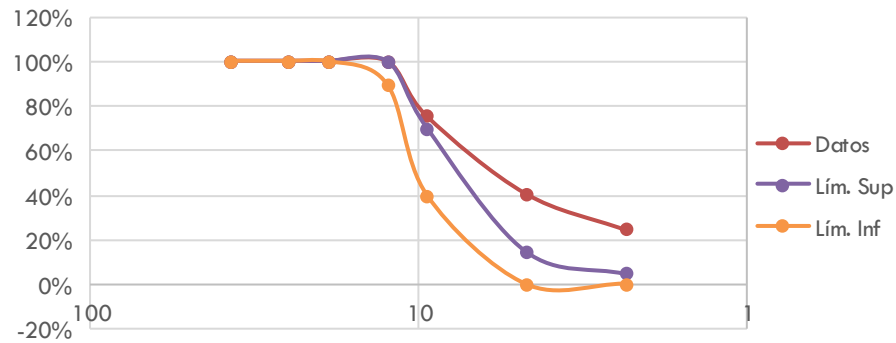
Curva Granulométrica Cerámica Máq. Ángeles



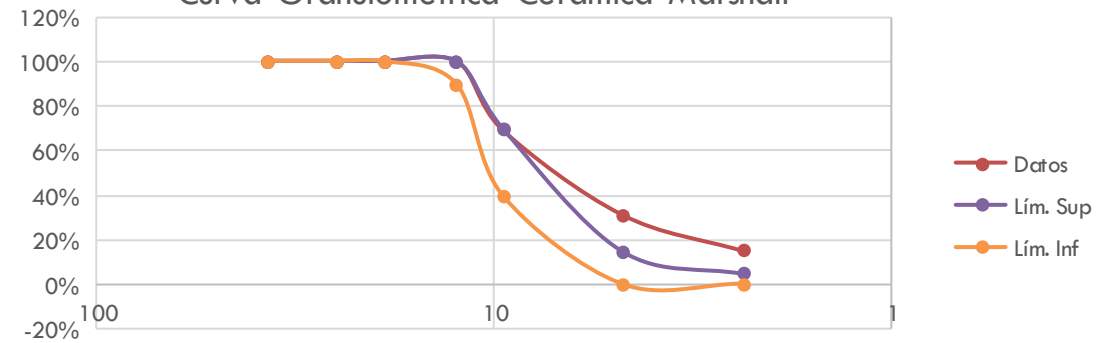
Curva Granulométrica Cerámica Máq. Ángeles 2 Esferas



Curva Granulométrica Cerámica Manual



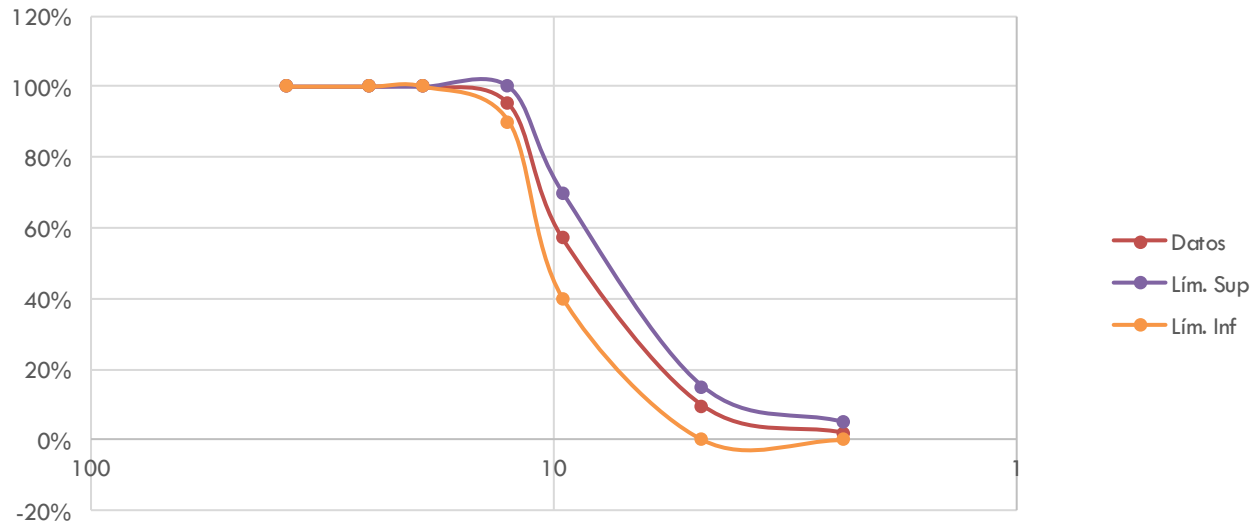
Curva Granulométrica Cerámica Marshall



## Análisis Granulométrico (INEN 872)

Tamiz	Retenido (g)	Peso Retenido Acumulado	%Retenido Acumulado	%Acumulado que pasó	Límite Superior	Límite Inferior
1/2	12,5	5000	5000	5%	100%	90%
3/8"	9,5	40000	45000	43%	70%	40%
N.4	4,76	50000	95000	90%	15%	0%
N.8	2,36	8000	103000	98%	5%	0%
Pasante		2000	105000	100%	0%	
		105000				

Curva Granulométrica Ideal Cerámica Marshall



## GRAVEDAD ESPECÍFICA O DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN (INEN 857)

Gravedad específica aparente =  $2,346 \frac{gr}{cm^3}$

Gravedad específica (SSS) =  $2,343 \frac{gr}{cm^3}$

Gravedad específica (SSS) =  $2,341 \frac{gr}{cm^3}$

% Absorción de agua = 0,10



***Contenido de humedad (INEN 862)***

% de agua media = 0,10

***Masa unitaria (Peso volumétrico) y porcentaje de vacíos (INEN 958)***

Densidad varillada =  $1,32 \frac{gr}{cm^3}$



% de vacíos = 10,09



## Resumen de propiedades

Parámetro	Unidad	Agregados			
		Grava	Grueso Cerámica	Media	Fino
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	Kg/m3	2529,74	2346,22	2437,98	2639,36
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	Kg/m3	2401,7	2343,06	2372,38	2558,01
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	Kg/m3	2318,24	2340,71	2329,48	2508,59
Absorción de agua	%	3,6	0,1		1,97
Módulo de finura					3,13
Tamaño máximo nominal		0,5	0,5	0,5	
Humedad natural	%	4,94	0,1		4,76
Peso vol. Suelto	Kg/m3	1133,84	1154,64	1144,24	1556,52
Peso vol. Compacto	Kg/m3	1274,49	1323,68	1299,08	1553,96



## Dosificación

Parámetro	Unidad	0% Cerámica	50% Cerámica	100% Cerámica
Asentamiento	cm	0-1	0-1	0-1
Tamaño nominal	in	0,50	0,50	0,50
Resistencia de diseño $f'_{cr} = 1,10f'_c + 5,0$	kg/cm <sup>2</sup>	491,00	491,00	491,00
Relación agua cemento - a/c		0,28	0,28	0,28



Introducción	Marco Teórico	Metodología	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
Ensayos Agregado Pétreo		Ensayo Material Cerámico		Dosificación	

## Proporciones iniciales

**0% cerámica**

0,28 : 1 : 1,32 : 1,06

**50% cerámica**

0,28 : 1 : 1,30 : 1,06

**100% cerámica**

0,28 : 1 : 1,29 : 1,07

Parámetro		Unidad	0% Cerámica	50% Cerámica	100% Cerámica
Peso seco	Agua	L	2,52	3,37	3,37
	Cemento	kg	8,48	11,36	11,36
	Arena	kg	11,18	14,79	14,6
	Ripio	kg	9,00	6,04	0
	Cerámica	kg	0	6,04	12,1

Introducción	Marco Teórico	Metodología	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
Ensayos Agregado Pétreo		Ensayo Material Cerámico		Dosificación	

Al trabajar con agregados bajo condiciones naturales, se debe considerar la humedad y absorción de los agregados, para ello se considera la siguiente formula:

$$A = M(H - Abs)$$

Material	Unidad	Agua retirada		
		0% Cerámica	50% Cerámica	100% Cerámica
Arena	kg	0,312	0,413	0,408
Ripio	kg	0,121	0,081	0
Cerámica	kg	0	0	0
Total	kg	0,433	0,494	0,408

### Ajuste por humedad

Parámetro		Unidad	0% Cerámica	50% Cerámica	100% Cerámica
Peso húmedo	Agua	L	2,08	2,88	2,96
	Cemento	kg	8,48	11,36	11,36
	Arena	kg	11,71	15,49	15,3
	Ripio	kg	9,45	6,34	0
	Cerámica	kg	0	6,05	12,11

## ● Elaboración de Cilindros



ASTM C 1064



INEN 1578

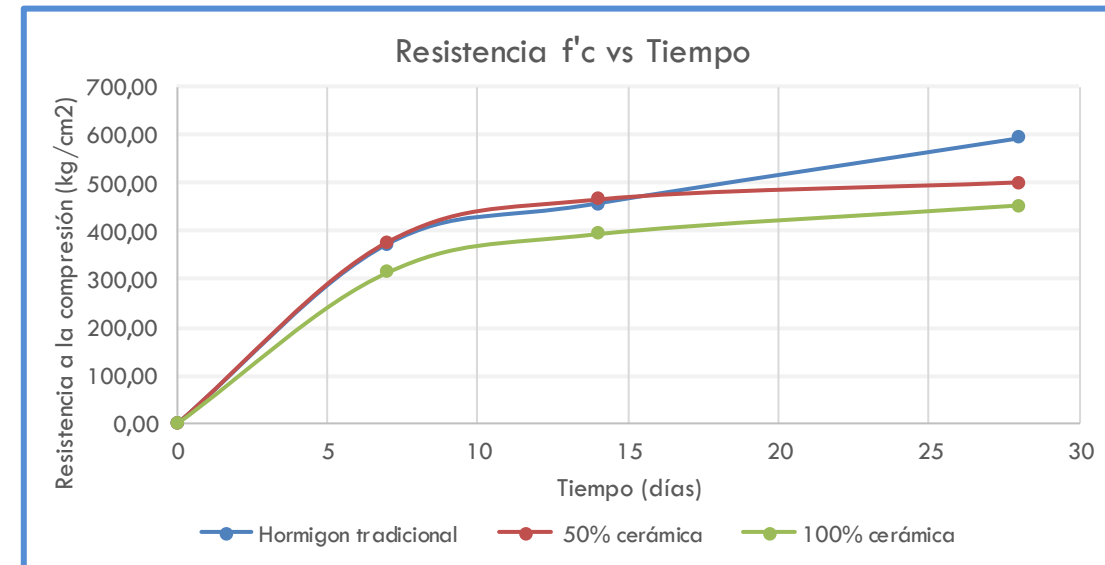
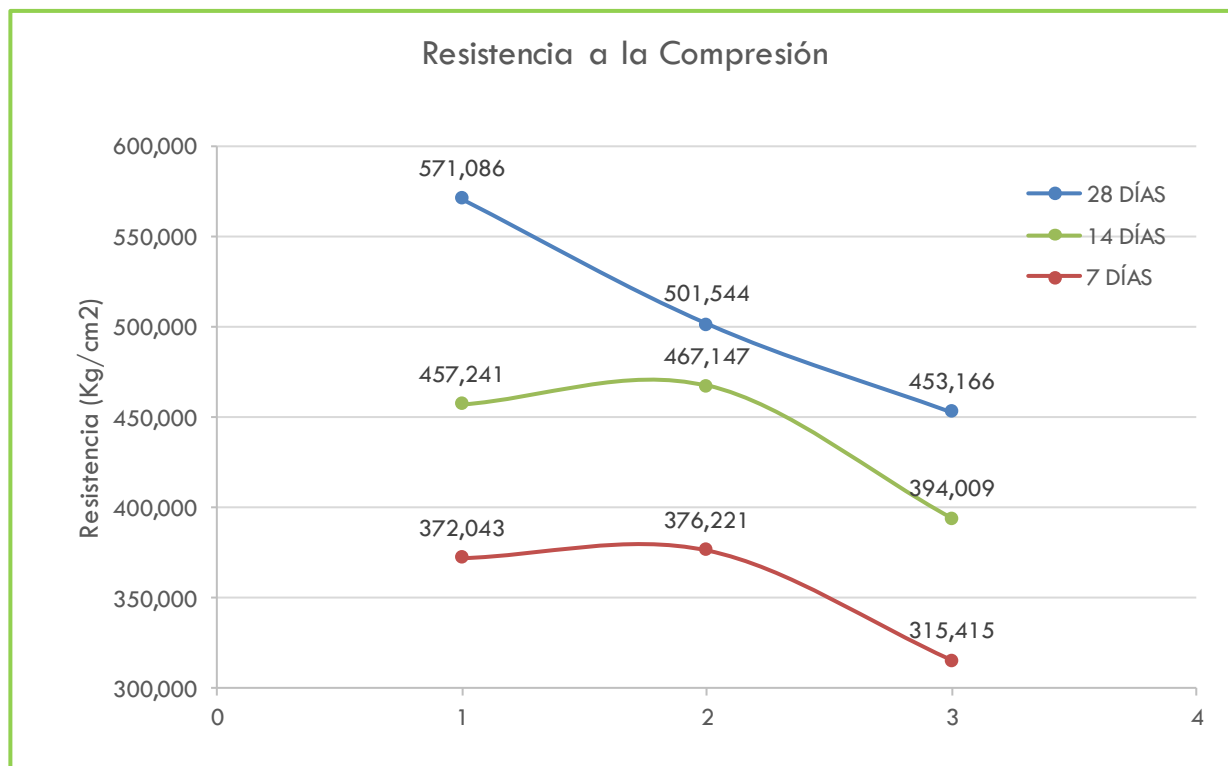


INEN 1576

# ● Elaboración de Adoquines



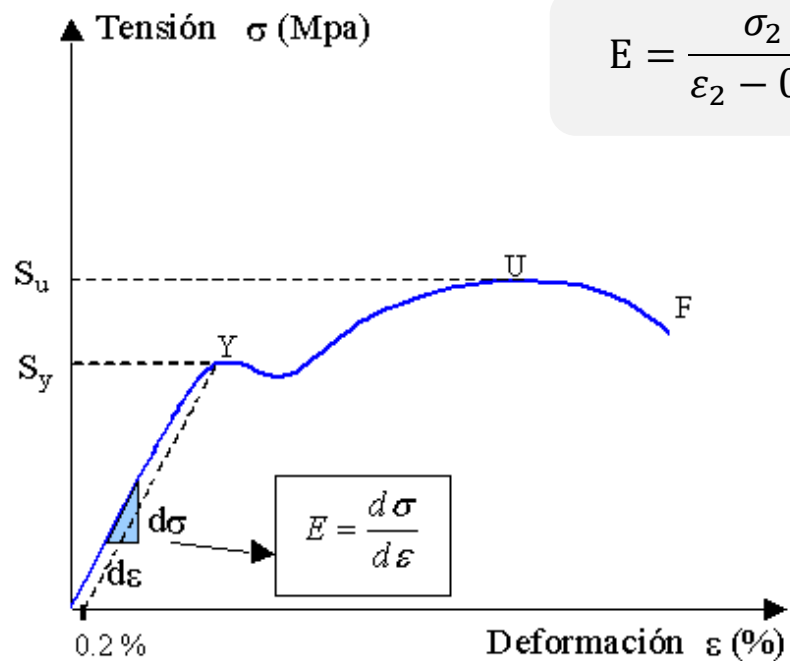
## Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón (INEN 1573)



Días	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
	0% Cerámica	50% Cerámica	100% Cerámica
0	0,00	0,00	0,00
7	372,04	376,22	315,42
14	457,24	467,15	394,01
28	594,42	501,54	453,17

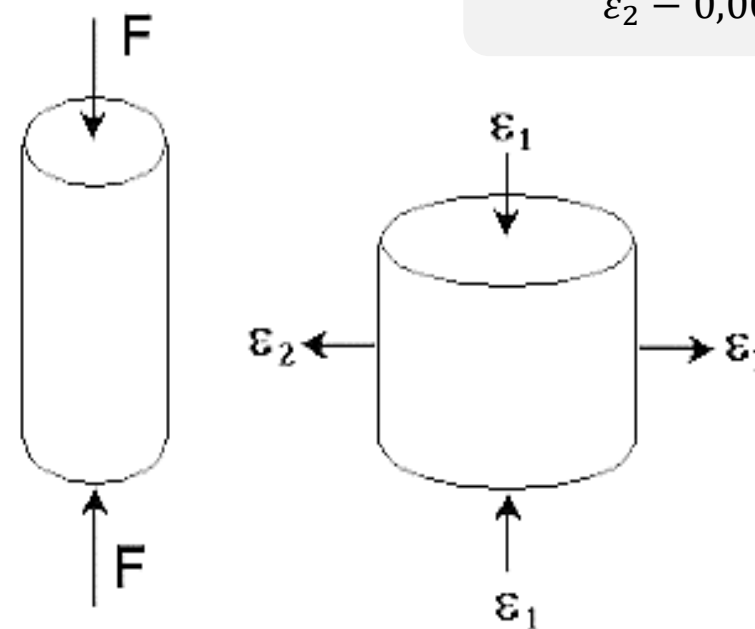
## ● Módulo de Elasticidad y Coef. De Poisson

### Modulo de Elasticidad



$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0,0005}$$

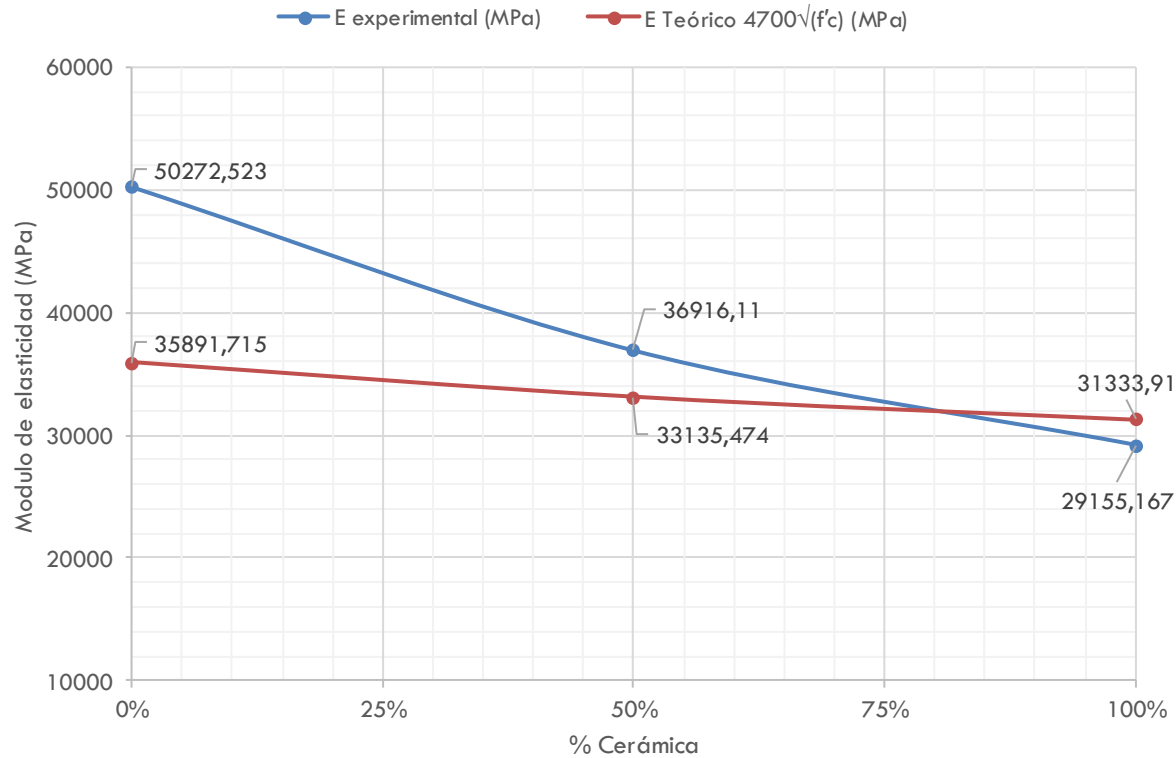
### Coeficiente de Poisson



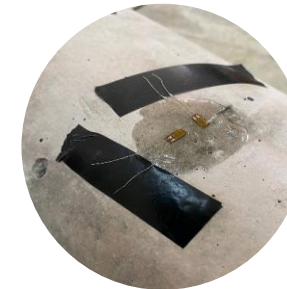
$$u = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0,0005}$$



Modulo de Elasticidad vs %Cerámica

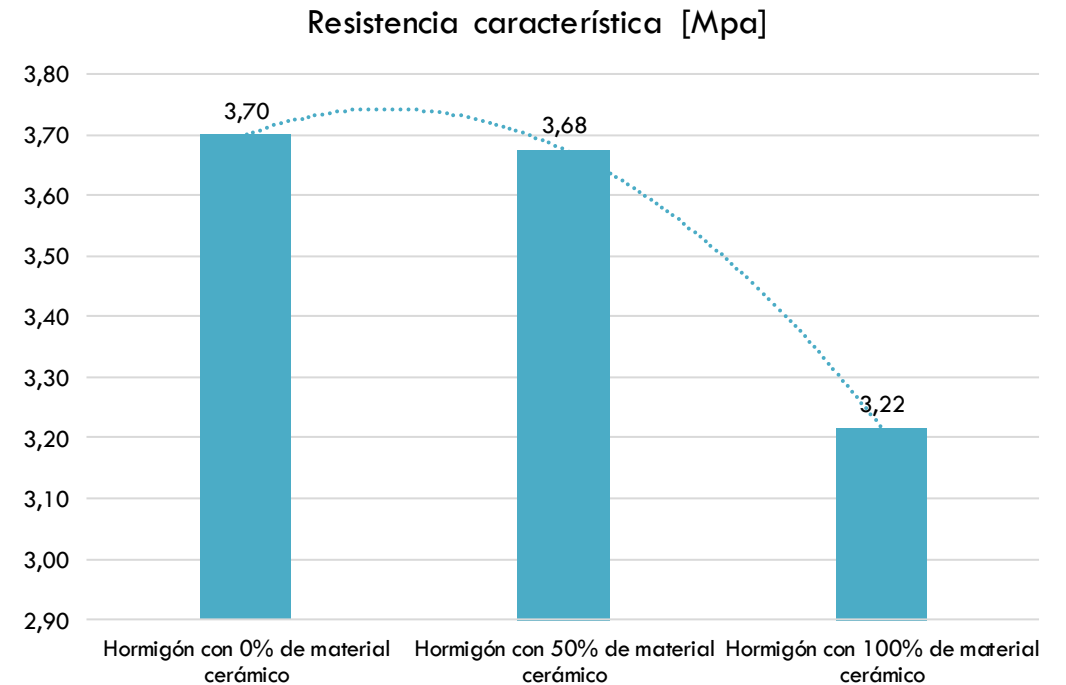


% Cerámica	Resistencia (MPa)	E experimental (MPa)	E Teórico (MPa)
0%	58,317	50272,523	35891,71
50%	49,704	36916,11	33135,47
100%	44,446	29155,167	31333,91



## ● Resistencia a la Tracción Indirecta

Tipo de Mezcla	Resistencia promedio [Mpa]	Desviación Estándar	Resistencia característica [Mpa]
Hormigón con 0% de material cerámico	4,4	0,43	3,70
Hormigón con 50% de material cerámico	4,4	0,44	3,68
Hormigón con 100% de material cerámico	3,9	0,39	3,22



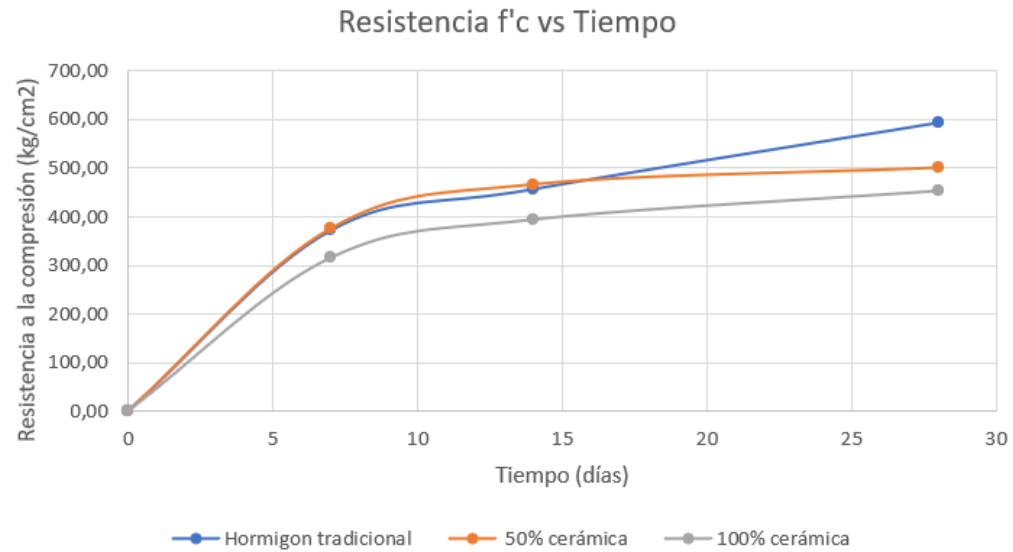
## ● Resistencia a la abrasión

Tipo de Mezcla	Adoquín	Long. Huella Redond. [mm]	Promedio Long. Huella [mm]
Hormigón con 0% de material cerámico	1-H	22,0	21,0
	2-H	20,0	
	3-H	21,0	
Hormigón con 50% de material cerámico	1-C50	20,0	20,7
	2-C50	23,0	
	3-C50	19,0	
Hormigón con 100% de material cerámico	1-C100	20,0	20,0
	2-C100	21,0	
	3-C100	19,0	

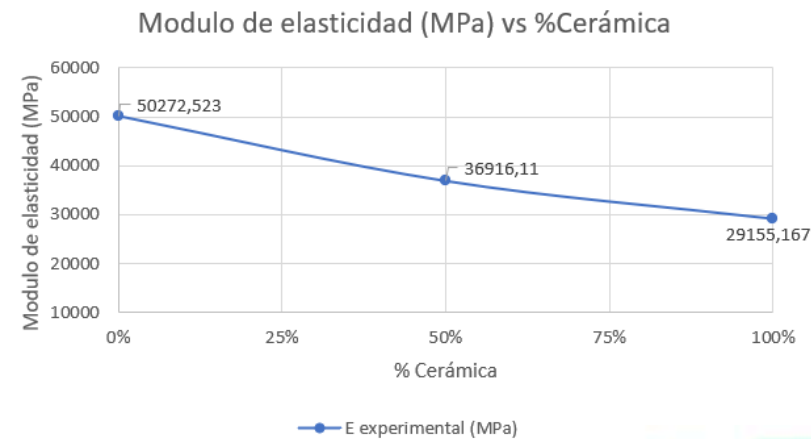




**Resistencia a la compresión**

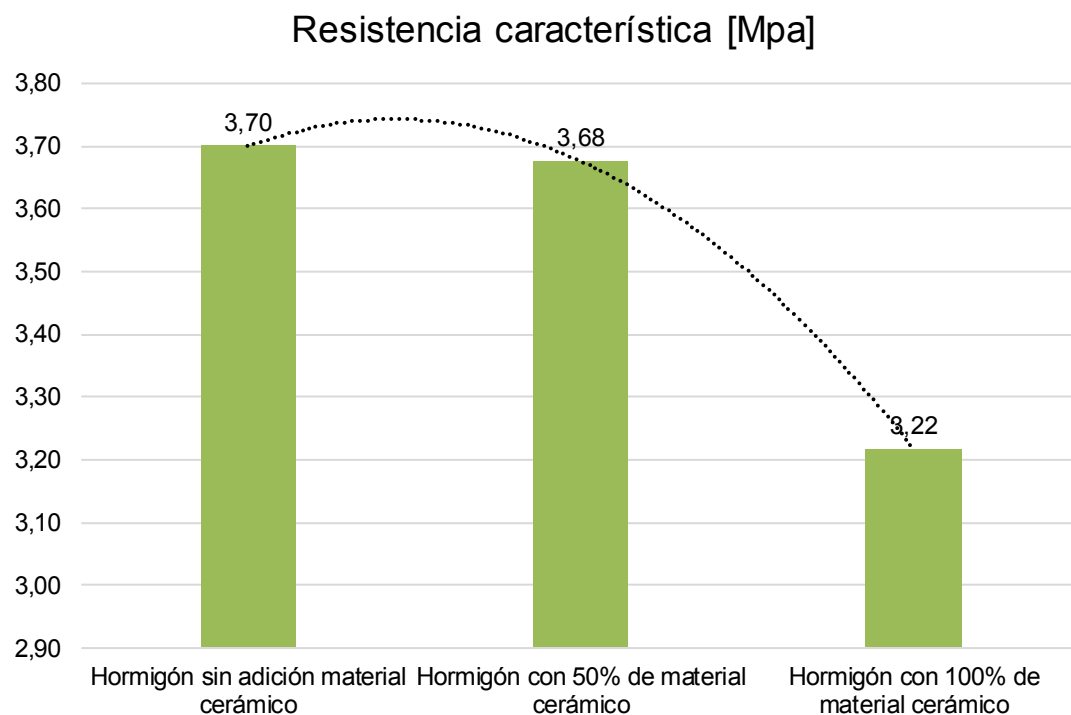


**Módulo de elasticidad**

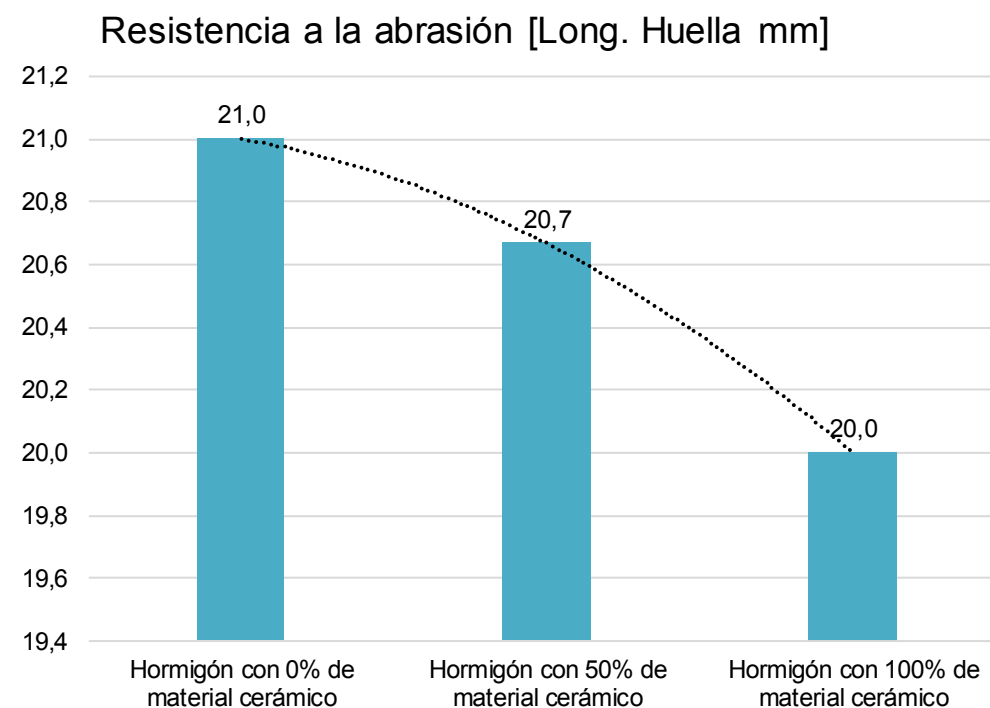


**Coefficiente de Poisson**

## ● Resistencia a la tracción indirecta



## ● Resistencia a la abrasión



## ● Resumen de resultados

Tipo de Mezcla	Resistencia a la compresión	Resistencia a la Tracción Indirecta	Resistencia a la Abrasión
Hormigón con 0% de material cerámico	571,08 [Kg/cm <sup>2</sup> ]	3,70 [MPa]	21,0 [mm]
Hormigón con 50% de material cerámico	501,54 [Kg/cm <sup>2</sup> ]	3,68 [MPa]	20,7 [mm]
Hormigón con 100% de material cerámico	453,17 [Kg/cm <sup>2</sup> ]	3,22 [MPa]	20,0 [mm]



## ● Recomendaciones



### Implementar

Instalación de producción de material triturado



### Complementar

10%, 25%, 75% y 90% de agregado cerámico



### Evaluar

Uso del residuo cerámico como agregado fino



### Elaborar

Análisis económico



### Continuar

Investigación de alternativas



Gracias por su  
atención



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

