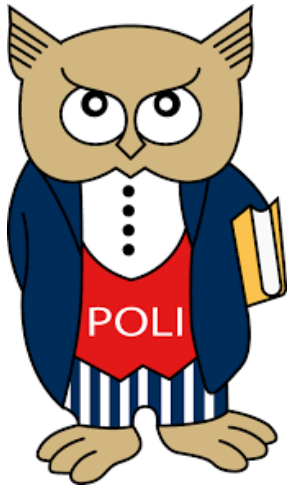


# OBTENCIÓN DE HORMIGÓN Y MORTERO A PARTIR DEL CATALIZADOR AGOTADO DE LA UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO DE LA REFINERÍA ESMERALDAS COMO ADICIÓN PUZOLÁNICA



Escuela Politécnica Nacional  
Facultad de Química y Agroindustria  
Alex Frederick Mosquera Canchingre

# INTRODUCCIÓN

- **Proceso FCC**

Convierte cortes pesados del crudo en fracciones más ligeras

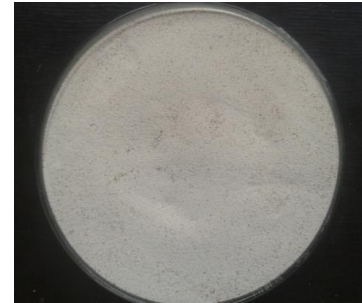
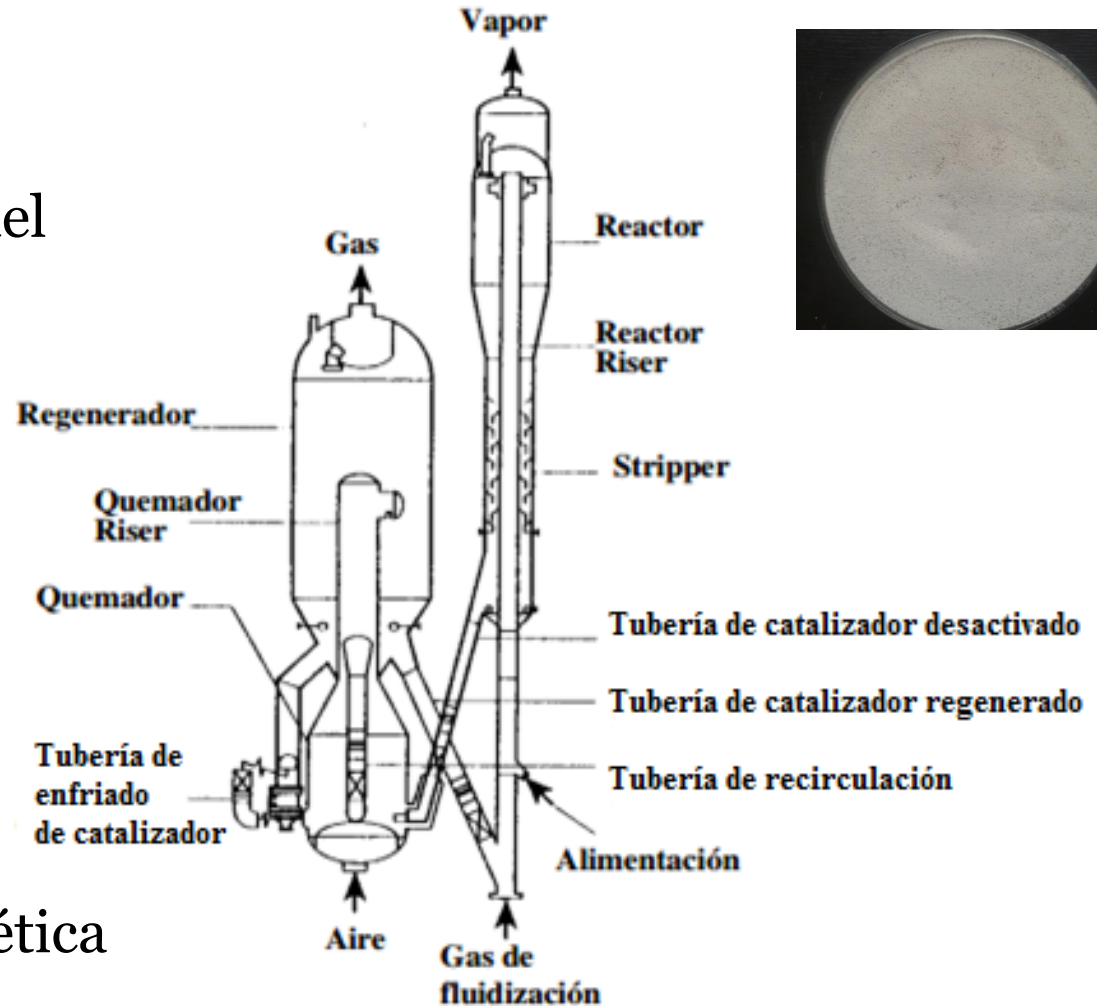
- **Catalizador**

Sólido particulado

- **Componentes**

Zeolita

Matriz activa, inerte y sintética



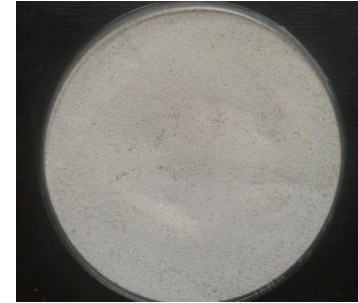
# INTRODUCCIÓN

- **Propiedades**

Superficie específica: 200-300 m<sup>2</sup>/seg

Tamaño de partícula: < 150 µm

Densidad: 0,90-1,05 g/cm<sup>3</sup>



- **Catalizador agotado**

Regeneración limitada

Se agota o envenena

Disminuye área superficial



- **Refinería Esmeraldas**

Desecho tóxico, metales pesados

Contamina suelo y acuíferos subterráneos



# METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

**Catalizador agotado, cemento,  
agregados fino y grueso**

↓  
**Caracterización física y  
mineralógica**

↓  
**Dosificación**

↓  
**Evaluación de propiedades  
mecánicas en hormigón fresco**

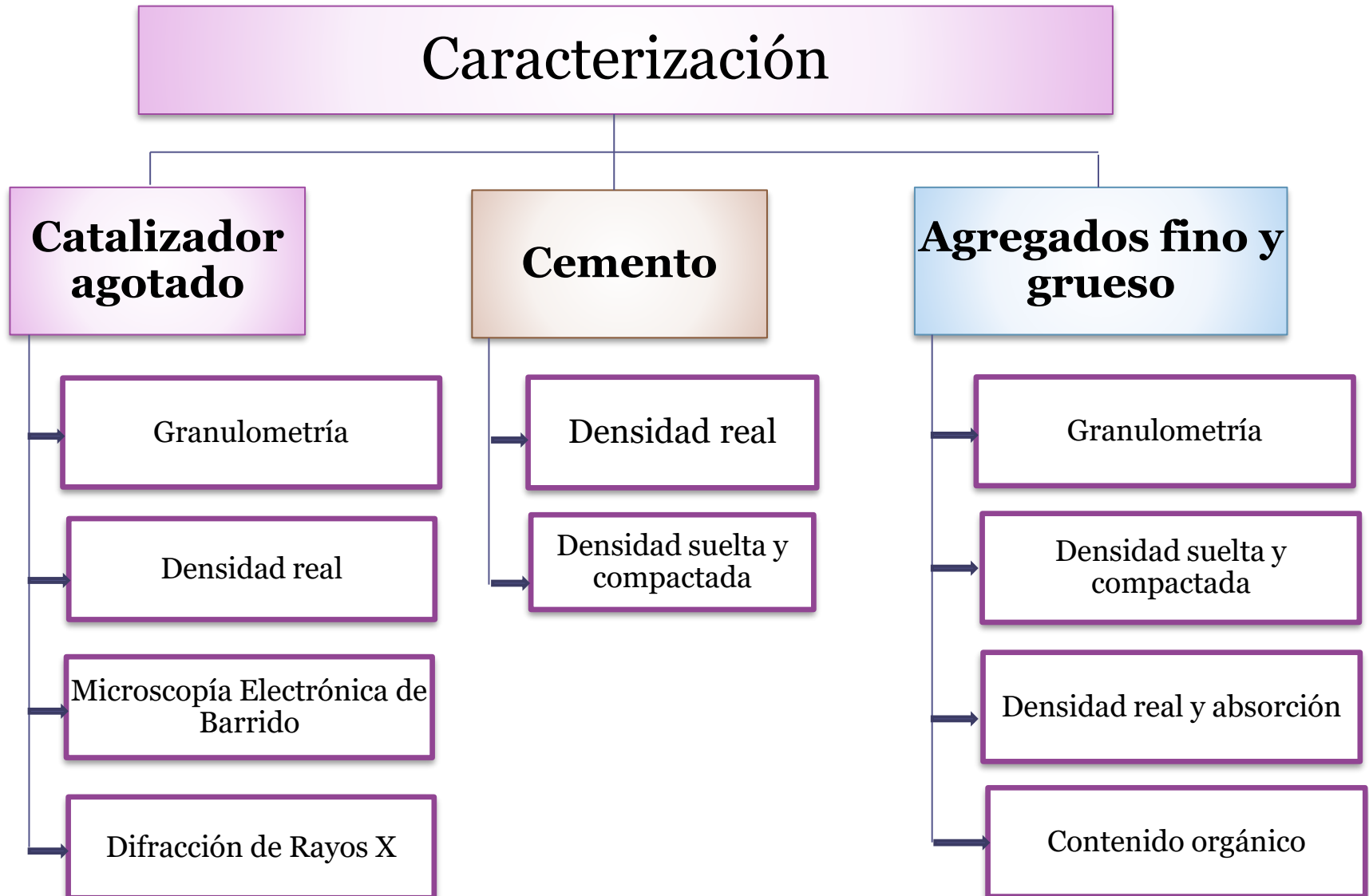
↓  
**Evaluación de propiedades  
mecánicas en hormigón endurecido**

↓  
**Evaluación de propiedades  
mecánicas en mortero**

↓  
**Diseño de la planta**

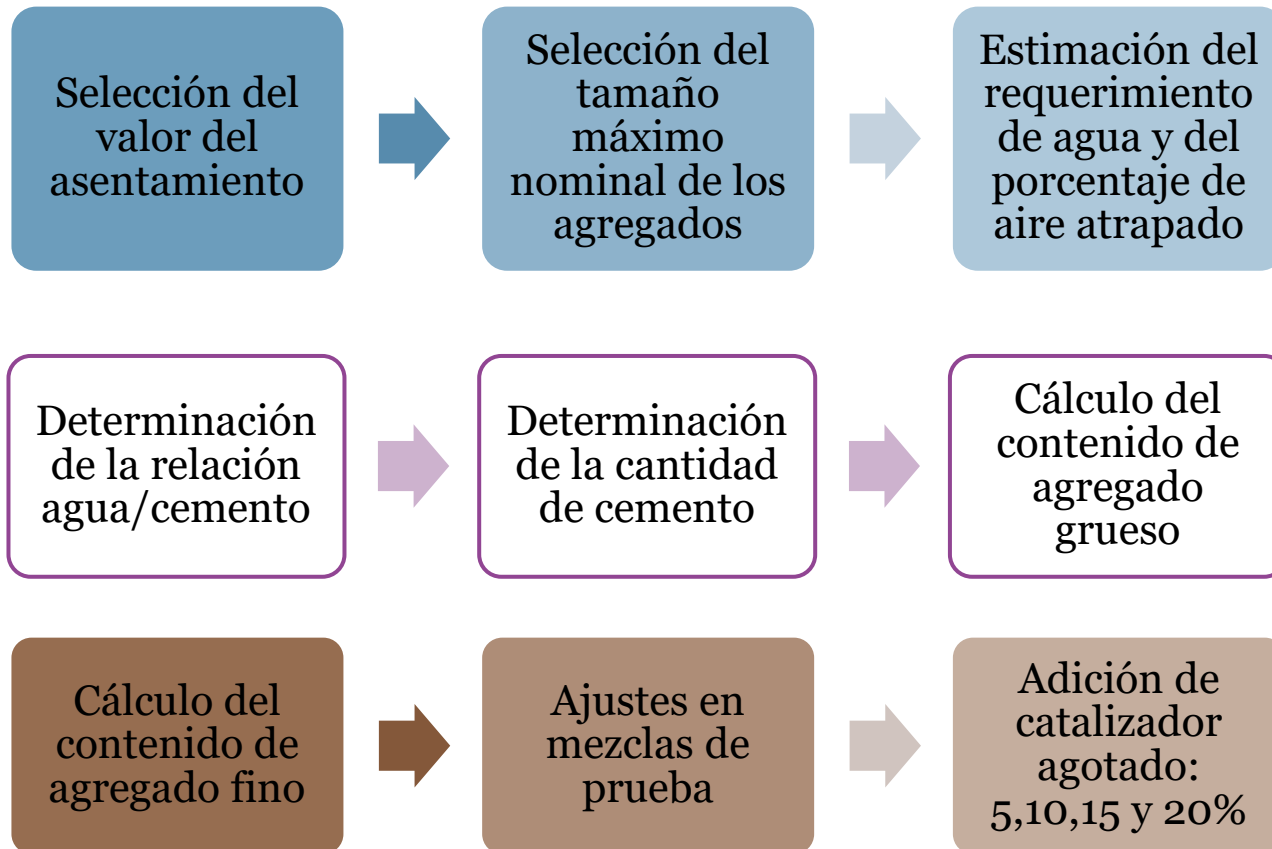
↓  
**Análisis de prefactibilidad  
económica**

# Caracterización física y mineralógica



# Dosificación

## Proceso



# Evaluación de propiedades mecánicas en Hormigón

**Tiempo de fraguado**  
**Contenido de aire**  
**Calor de hidratación**  
**Requerimiento de agua**

**Hormigón fresco**

**Resistencia a la compresión**  
**Expansión y contracción en autoclave**  
**Test de lixiviación TCLP**

**Hormigón endurecido**





# Evaluación de propiedades mecánicas en Mortero

## Ensayos

- Contenido de aire
- Expansión en mortero
- Índice de actividad puzolánica
- Contracción por secado
- Resistencia a los sulfatos

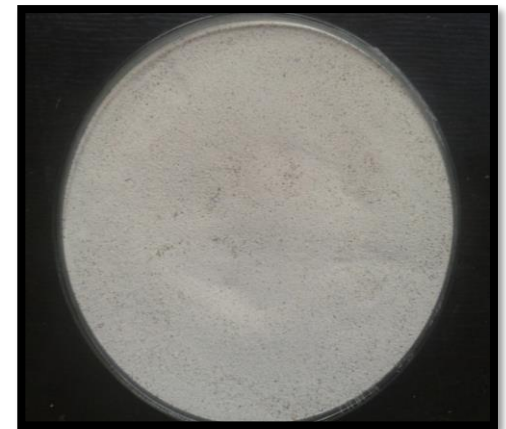




# RESULTADOS

- Caracterización física del catalizador agotado

Propiedad física	Valor
Granulometría $d_{80}$ ( $\mu\text{m}$ )	106
Densidad real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,57



- Caracterización mineralógica

Componente	Fórmula
Faujasita	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Mg})_5(\text{Si}, \text{Al})_{12}\text{O}_{24} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Bohemita	$\text{AlO}(\text{OH})$
Muscovita	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$

# RESULTADOS

- Caracterización física del cemento

Propiedad física	Valor	Límite
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2,84	2,90-3,15
Densidad suelta (g/cm <sup>3</sup> )	1,05	0,96-1,28
Densidad compactada (g/cm <sup>3</sup> )	1,32	1,20-1,40

- Caracterización física agregado grueso y fino

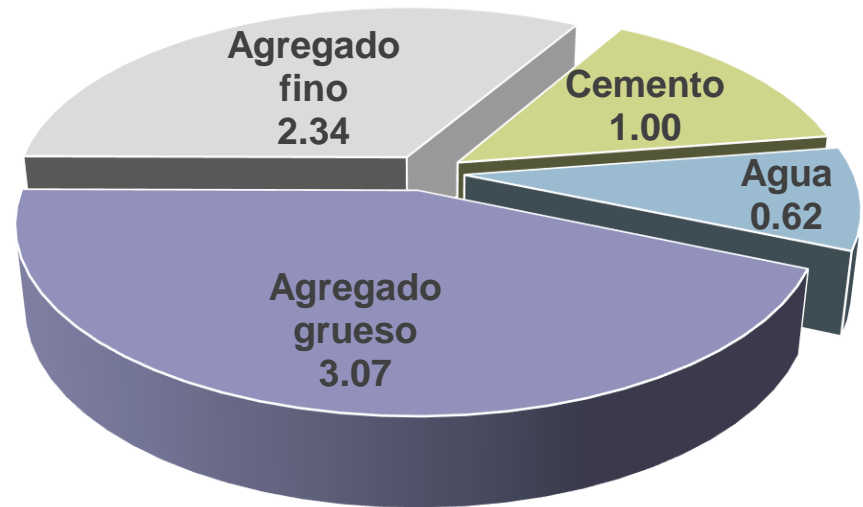
Propiedad física	Agreg. grueso	Límite	Agreg. fino	Límite
Densidad SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2,53	2,40-2,90	2,31	2,40-2,90
Absorción	4,43	<5	9,79	<10
Densidad suelta (g/cm <sup>3</sup> )	1,41	1,40-1,50	1,67	1,50-1,70
Densidad compactada (g/cm <sup>3</sup> )	1,49	1,50-1,70	1,84	1,70-1,90

# RESULTADOS

## Dosificación

- Hormigón convencional

Componentes	Peso (kg)
Cemento	309,7
Agua	193,0
Agregado grueso	950,9
Agregado fino	723,7



# RESULTADOS

## Dosificación

- Hormigón con diferentes porcentajes de catalizador agotado

Material	Porcentaje de sustitución de cemento por catalizador (%)			
	5	10	15	20
	Peso (kg)			
Cemento	294,3	278,8	263,3	247,8
Agua	193,0	193,0	193,0	193,0
Agregado fino	723,8	723,8	723,8	723,8
Agregado grueso	951,0	951,0	951,0	951,0
Catalizador	15,5	31,0	46,5	62,0

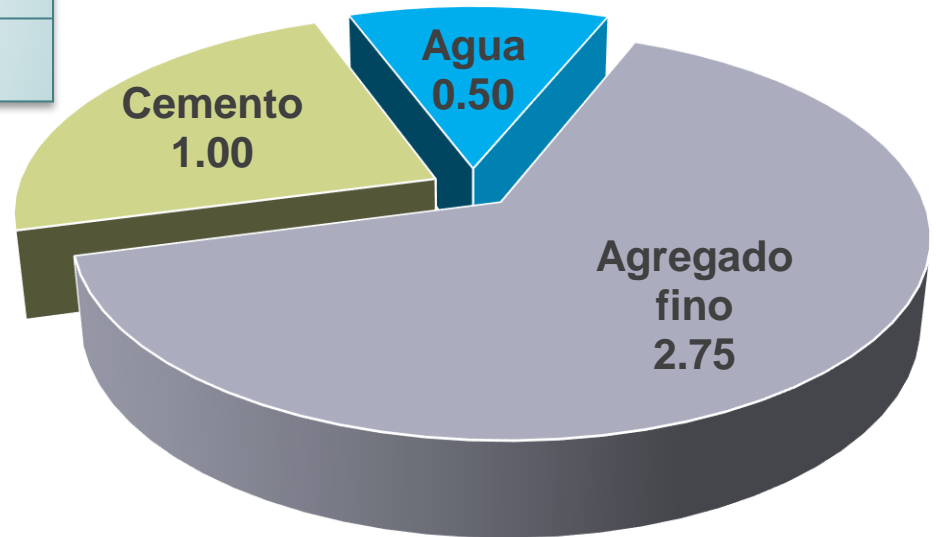


# RESULTADOS

## Dosificación

- Mortero estándar

Componentes	Peso (kg)
Cemento	500,0
Agua	250,0
Agregado fino	1375,0





RESULTADOS

PROPIEDADES MECÁNICAS  
EN HORMIGÓN

# Hormigón Fresco

- Tiempo inicial de fraguado

Muestra	Cemento Patrón	Cemento con adición de catalizador agotado				Límites de la norma INEN 490	
		Porcentaje (%)				Mín.	Máx.
		5	10	15	20		
Tiempo de fraguado (min)	233	220	200	186	171	45	420





# Hormigón Fresco

- Contenido de aire

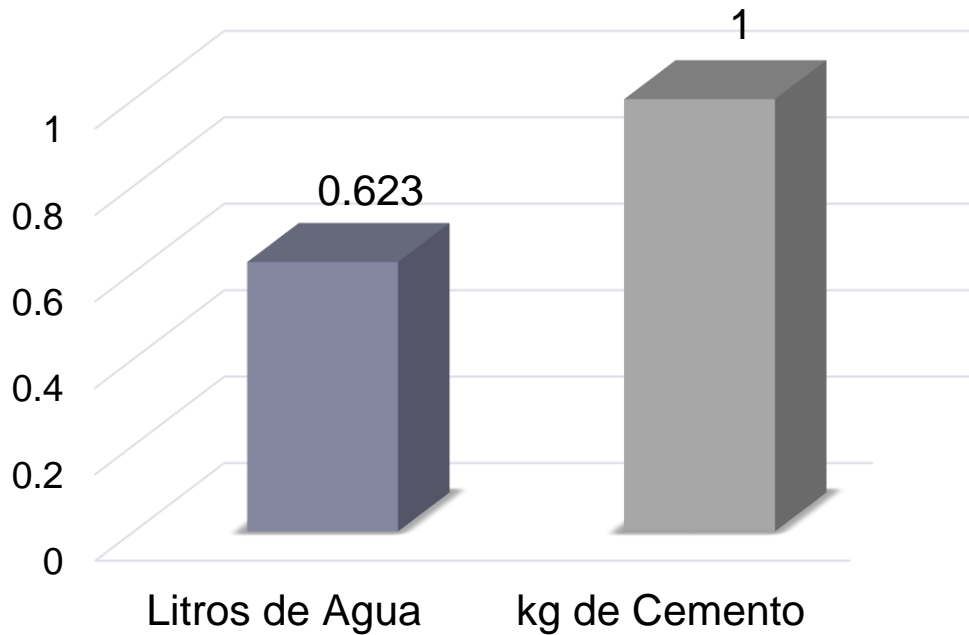
Muestra	Hormigón convencional	Hormigón con sustitución (%)				Valor aceptado
		5	10	15	20	
Cont. de aire (%)	1,4	1,3	1,4	1,8	2,1	1,5

- Calor de hidratación

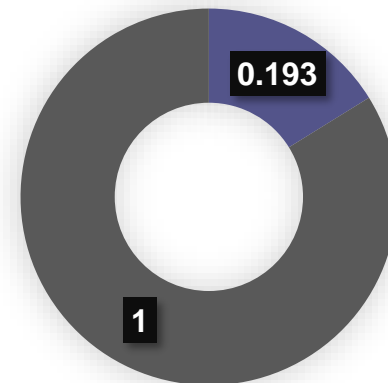
Muestra	Hormigón convencional	Hormigón con sustitución (%)			Límite máx. de la norma INEN 490
		5	10	15	
Calor de hidratación (kJ/kg)	334,1	362,4	406,0	444,3	290,0

# Hormigón Fresco

- **Requerimiento de agua**

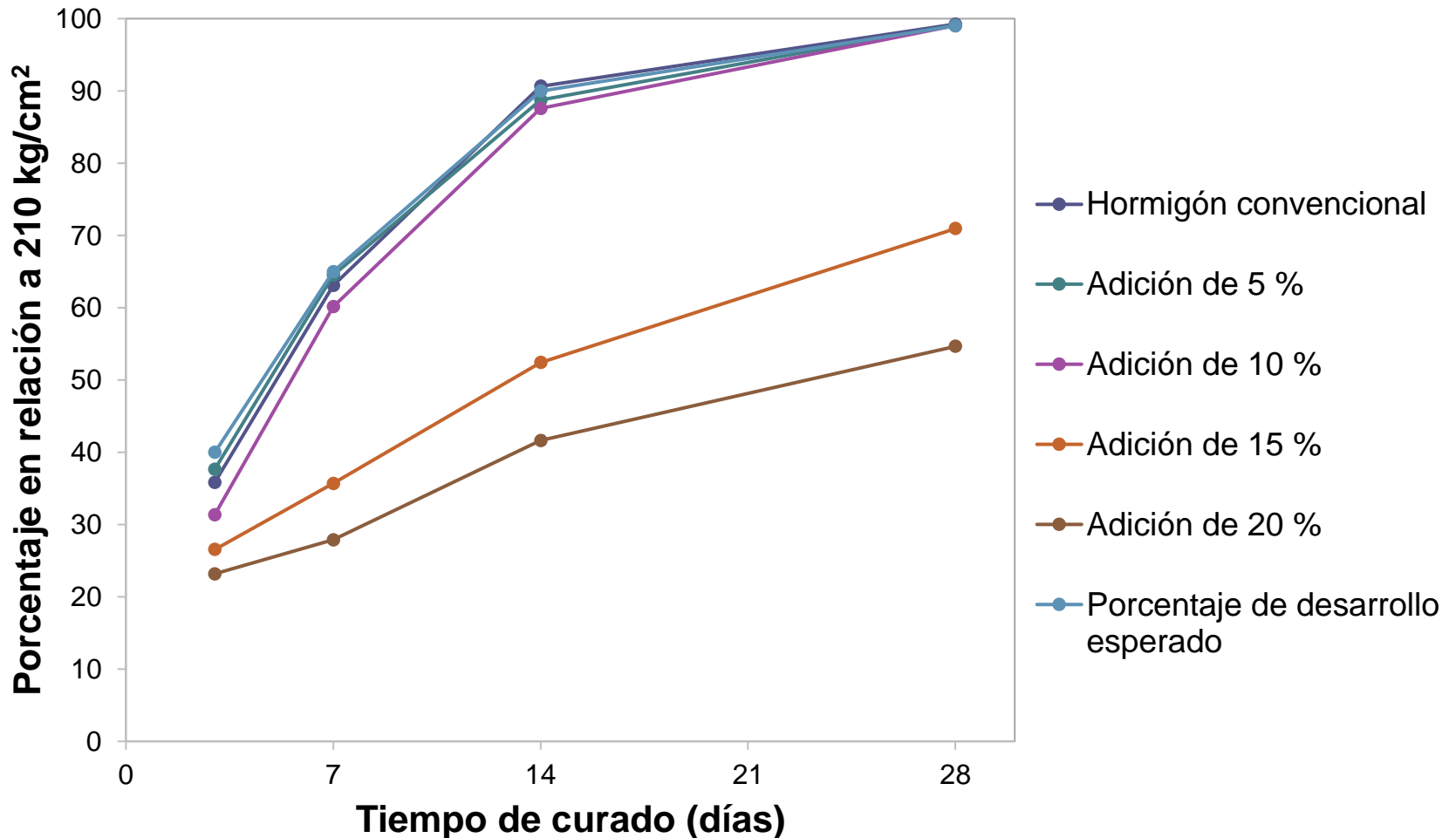


**m<sup>3</sup> de agua/m<sup>3</sup> de hormigón**



# Hormigón Endurecido

- Resistencia a la compresión



# Hormigón Endurecido

- **Expansión y contracción en autoclave**

Muestra	Hormigón convencional	Hormigón con varios porcentajes de sustitución (%)				Límites de la norma INEN 490	
		5	10	15	20	Cont.	Exp.
Expansión(%)	0,35	0,34	0,30	0,24	0,18	0,20	0,80



# Hormigón Endurecido

- **Test de lixiviación TCLP**

Elemento	Límite máximo permisible (mg/L)	Hormigón con sustitución		
		5 %	10 %	15 %
As (ug/L)	5,00	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Ba(mg/L)	100,00	0,10	0,10	0,15
Cd(mg/L)	1,00	0,04	0,04	0,05
Cr(mg/L)	5,00	0,62	0,36	0,15
Hg (ug/L)	0,20	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Ni(mg/L)	2,00	0,25	0,33	0,39
Ag(mg/L)	5,00	0,01	0,02	0,02
Pb(mg/L)	5,00	0,35	0,62	0,62
Se (ug/L)	1,00	< 0,10	< 0,10	< 0,10





RESULTADOS

PROPIEDADES MECÁNICAS  
EN MORTERO

# Mortero

- Contenido de aire

Muestra	Mortero estándar	Mortero con sustitución				Valor aceptado
		Porcentaje (%)				
		5	10	15	20	
Cont. de aire (%)	1,4	1,4	1,5	1,7	1,8	1,5

- Índice de actividad puzolánica

Propiedad	Porcentaje	Requisito norma INEN 494
Índice de actividad puzolánica	86,61 %	75,00 %



# Mortero

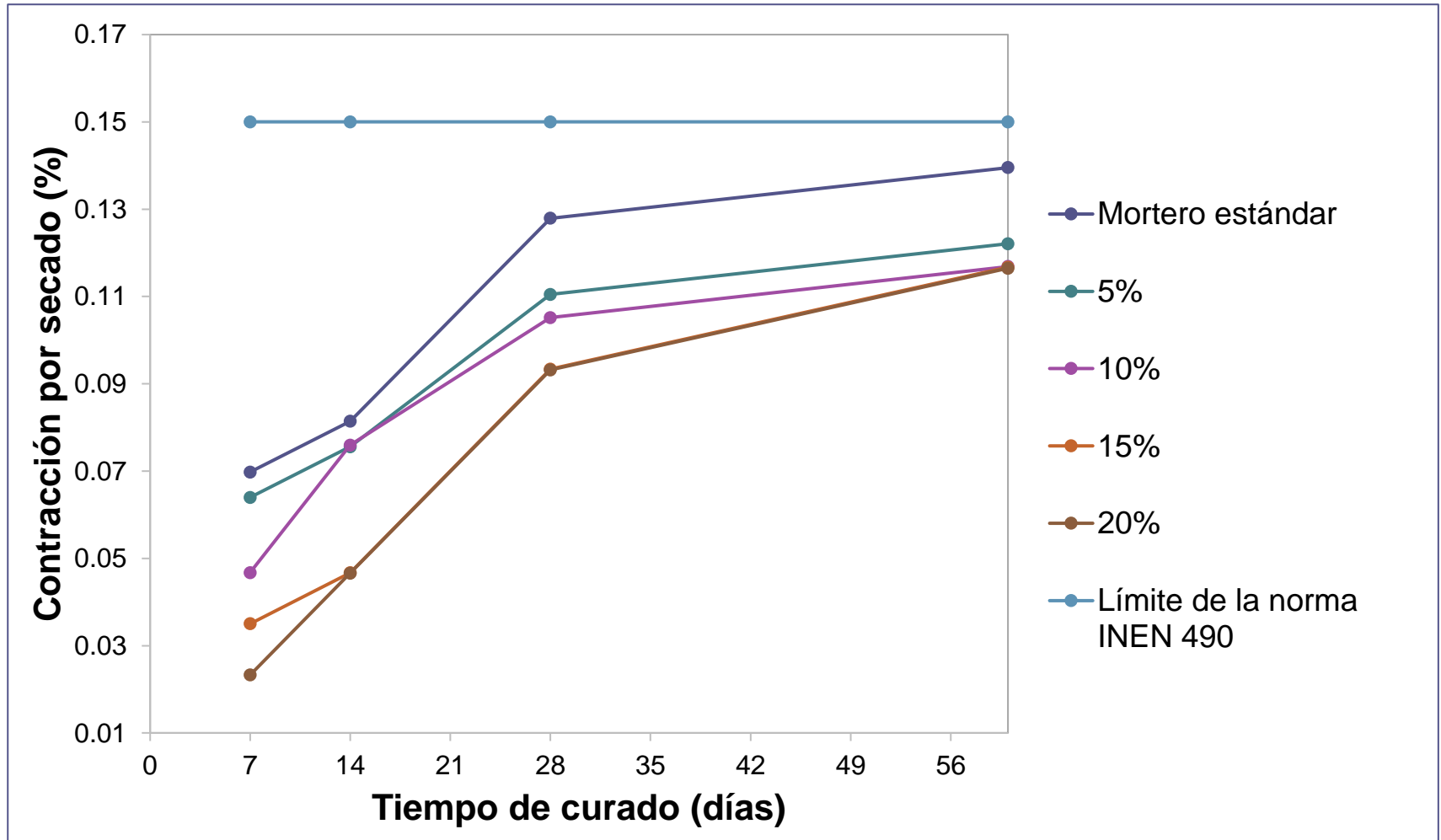
- **Expansión en mortero**

Muestra	Mortero estándar	Mortero con varios porcentajes de sustitución				Límite de la norma INEN 490
		5 %	10 %	15 %	20 %	
Expansión en autoclave (%)	0,018	0,018	0,017	0,015	0,013	0,020



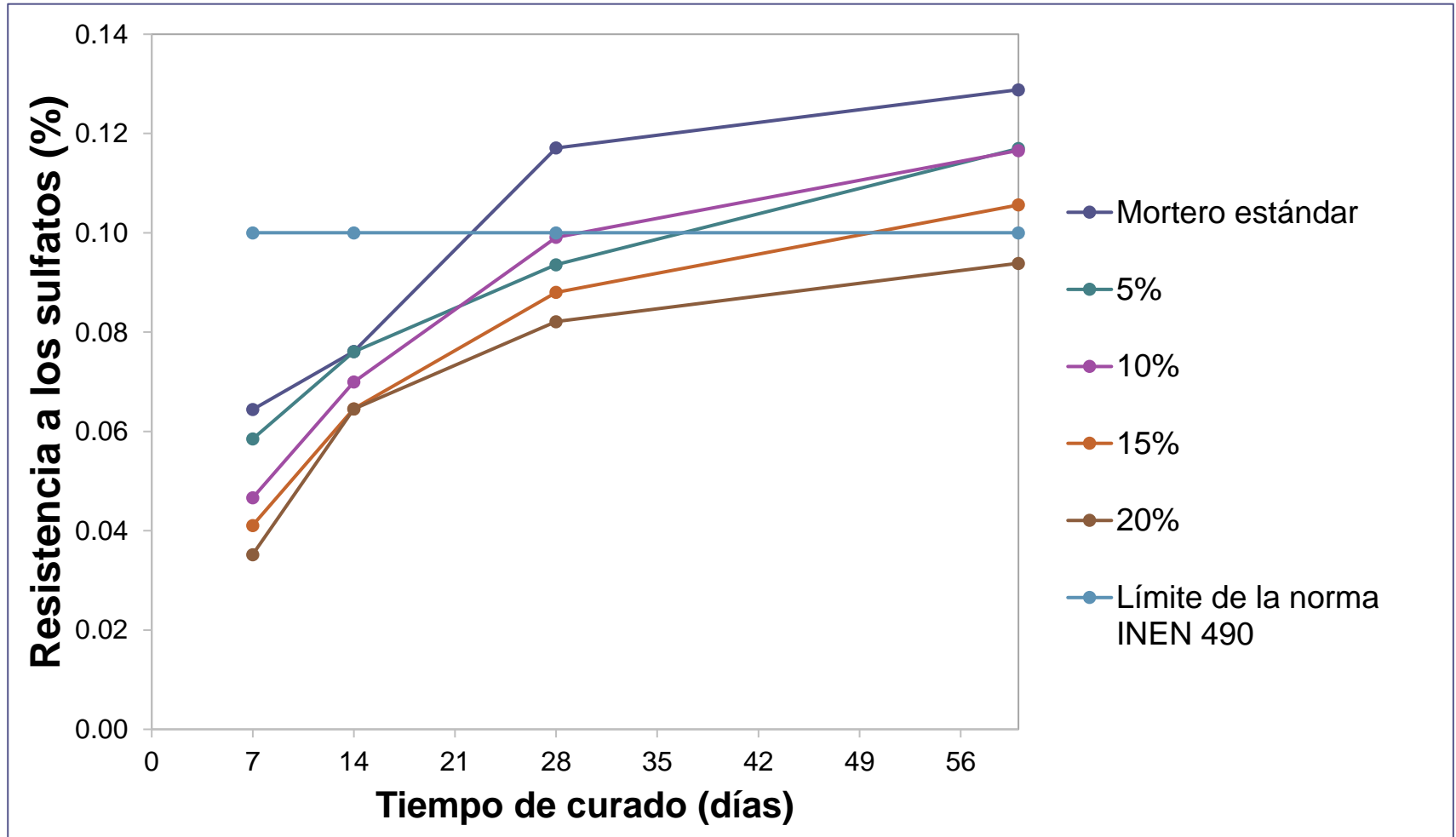
# Mortero

- **Contracción por secado**



# Mortero

- Resistencia a los sulfatos



# MEJORES CONDICIONES

<b>Propiedad</b>	<b>Resultados con adición de 10 % de catalizador</b>	<b>Requisitos de la norma INEN 490</b>
<b>Tiempo inicial de fraguado</b>	200 min	45 – 420 min
<b>Contenido de aire (hormigón)</b>	1,4 %	1,5 %
<b>Calor de hidratación</b>	406,0 kJ/kg	290,0 kJ/kg
<b>Resistencia a la compresión</b>	207,98 kg/cm <sup>2</sup>	210,00 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Expansión en autoclave</b>	0,3 %	0,2 – 0,8 %
<b>Contenido de aire (mortero)</b>	1,5 %	1,5 %
<b>Expansión en mortero</b>	0,017 %	0,020 %
<b>Contracción por secado</b>	0,12 %	0,15 %
<b>Resistencia a los sulfatos</b>	0,12 %	0,10 %

# DISEÑO DE LA PLANTA

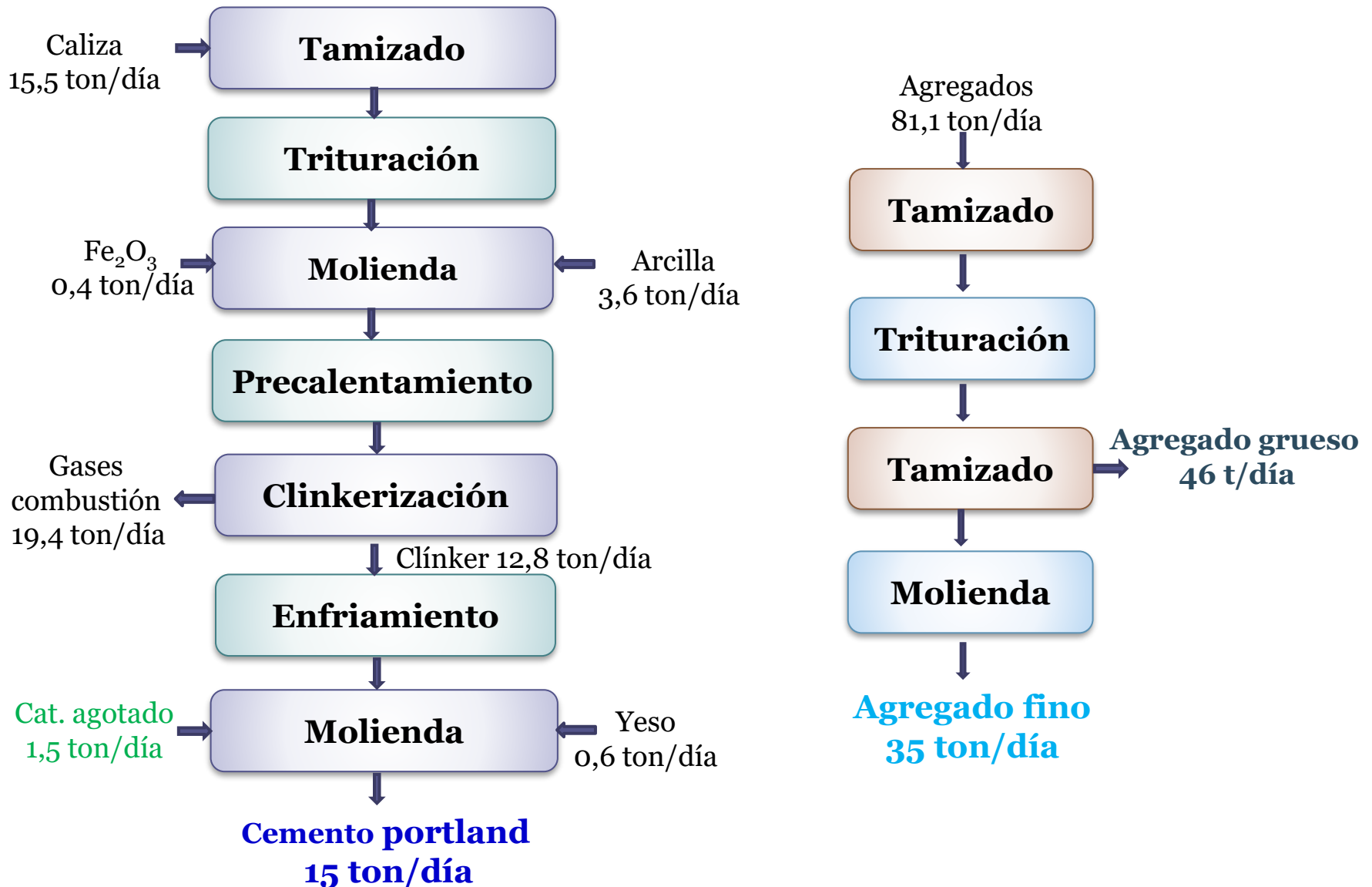
- **Capacidad de la planta**

Material	Cantidad (kg/día)
Catalizador FCC agotado	1 500
Cemento portland sin adición puzolánica	13 500
Total cemento portland puzolánico	15 000

(Cervantes, 2009, p. 52)

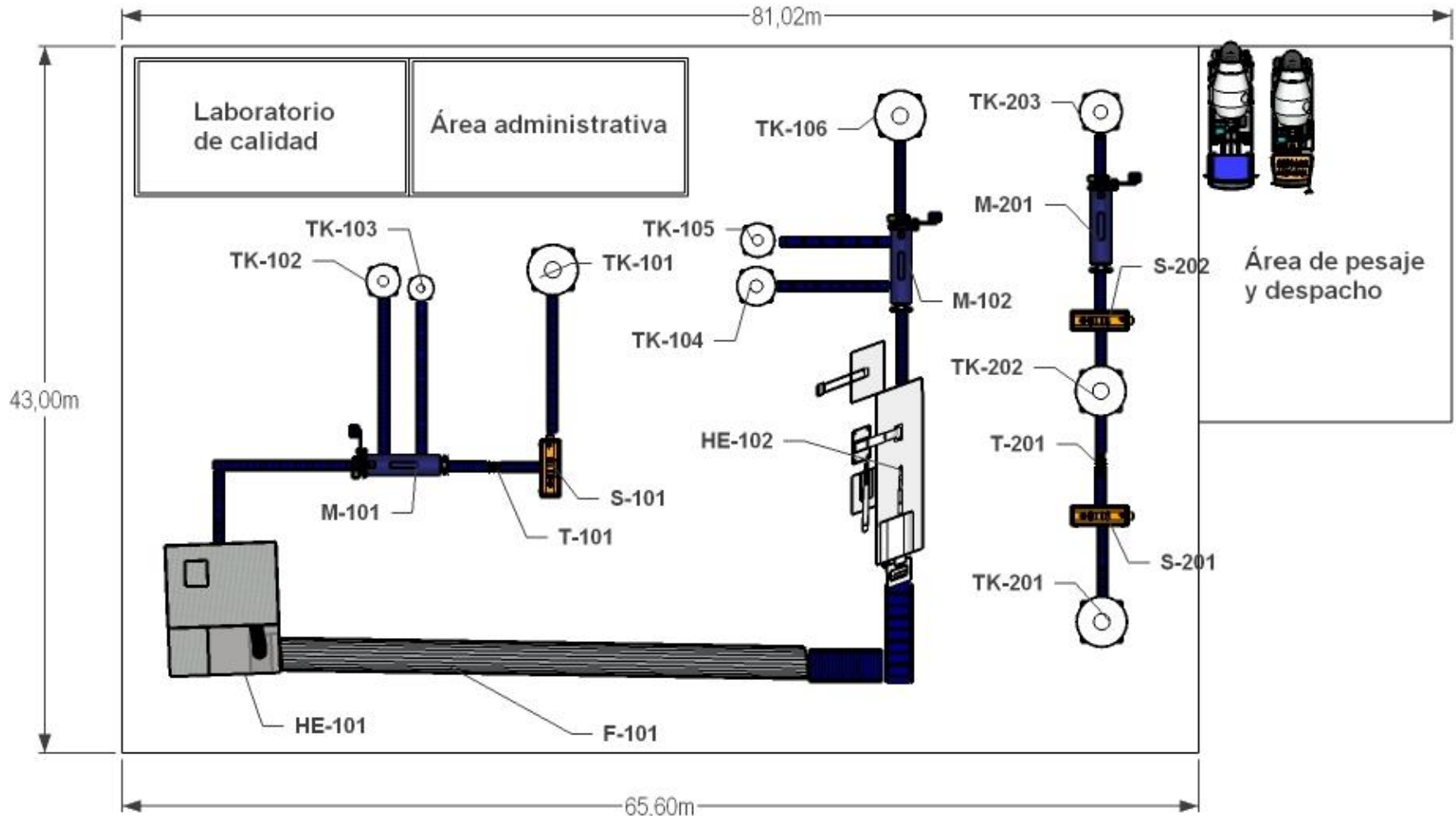
Material	Relación en peso	Cantidad (kg/día)
Cemento portland puzolánico	1,00	15 000,00
Agregado grueso	3,07	46 046,75
Agregado fino	2,34	35 044,76

# DISEÑO DE LA PLANTA



# DISEÑO DE LA PLANTA

- **Distribución de la planta**





# DISEÑO DE LA PLANTA

- Localización de la planta



# ANÁLISIS ECONÓMICO PRELIMINAR



Indicador	Con adición de catalizador	Sin adición de catalizador
VAN	\$ 298 279,43	\$ 119 023,37
TIR	35 %	26 %
B/C	1,78	1,30
Inversión inicial	\$ 410 100,78	\$ 410 250,87

# CONCLUSIONES

El catalizador FCC agotado es un material de alta reactividad compuesto mayoritariamente por silicio y aluminio. Su uso permitió cumplir con los requisitos para hormigón establecidos en la norma INEN 490 sin representar riesgo ambiental y en algunos casos presentó mejoras con respecto a las muestras patrón.

Los indicadores económicos VAN y TIR evidenciaron que el proceso de obtención de hormigón y mortero con la adición de catalizador agotado es más rentable que el caso sin la adición mismo.

*¡Gracias!*