



*Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires*  
*Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias*

## TRABAJO FINAL

“Evaluación de aptitud del uso de residuos de la industria tabacalera en la industria del cemento”

**Carrera:** Ingeniería Industrial

<b>Autores:</b>	CAZAZOLA, Tatiana Anabel	15-142103-9
	CECHINI, Juan Pablo	15-142213-1
	QUIHILLALT, María Paz	15-142059-3

**Tutor:** Ing. Sebastián Barrera

**Fecha de Presentación:** 23 de Agosto de 2019



## Agradecimientos

Nos gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas nos han prestado durante el proceso de investigación y realización de este trabajo.

Quisiéramos agradecer a nuestro tutor, Ingeniero José Sebastián Barrera, por habernos orientado en todos los momentos que necesitamos sus consejos.

Así mismo, deseamos expresar nuestro reconocimiento a Marcelo Cidades, quien colaboró compartiendo sus conocimientos y experiencia en temas relacionados al cemento y uso de los elementos del laboratorio. Gracias por su paciencia y predisposición para reunirse con nosotros y enriquecernos tanto.

Al Dr. Héctor Fasoli, Director del Departamento de Química, quien nos ayudó con dedicación en puntos claves del proceso de investigación.

También a la Universidad Católica Argentina y a la cátedra de Estudio y Ensayo de Materiales por poner a nuestra disposición sus instalaciones y laboratorios.

Y finalmente agradecer a Demetrio D. y Marcelo Mangone, siendo miembros de las industrias objeto de nuestra investigación, nos ayudaron con sus aportes, materia prima e información en forma desinteresada.

A todos nuestros amigos y futuros colegas que nos ayudaron y acompañaron durante la carrera, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.



# Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1 MARCO GENERAL DEL CEMENTO Y EL TABACO.....	3
<b>1.1. Producción de Cemento en Argentina .....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Proceso productivo del cemento portland .....	3
1.1.2. Estado de la producción de cemento en Argentina .....	5
1.1.3. Eficiencia energética de la producción de cemento .....	5
1.1.4. Eficiencia de producto.....	6
<b>1.2. Producción de Tabaco en Argentina .....</b>	<b>7</b>
1.2.1. Proceso productivo del cigarillo.....	8
CAPÍTULO 2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	11
<b>2.1. Objetivo General .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3. Hipótesis.....</b>	<b>11</b>
2.3.1. Generalidades .....	11
2.3.2. Pregunta General: .....	11
2.3.3. Preguntas Específicas:.....	12
<b>2.4. Hipótesis General: .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5. Hipótesis Específicas:.....</b>	<b>12</b>
CAPÍTULO 3 MATERIALES .....	13

<b>3.1.</b>	<b>El concreto.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.</b>	<b>Adiciones minerales.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.</b>	<b>Cemento.....</b>	<b>14</b>
3.3.1.	Cemento para uso general.....	15
3.3.2.	Componentes principales.....	15
3.3.3.	Componentes minoritarios.....	16
3.3.4.	Categorías de cementos.....	17
3.3.5.	Designación de los cementos para uso general.....	18
3.3.6.	Cementos con propiedades especiales.....	18
3.3.7.	Cementos portland puzolánicos.....	20
<b>3.4.</b>	<b>El agua.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.</b>	<b>Agregados.....</b>	<b>22</b>
3.5.1.	Clasificación de los agregados por tamaño.....	22
I.	Agregado fino.....	22
II.	Agregado grueso.....	22
III.	Propiedades del hormigón y de los agregados.....	22
3.5.2.	Granulometría.....	23
I.	Módulo de finura.....	23
II.	Curvas granulométricas teóricas.....	24
<b>CAPÍTULO 4 METODOLOGÍAS Y PLAN EXPERIMENTAL.....</b>		<b>27</b>
<b>4.1.</b>	<b>Producción de Cenizas de Polvo de Tabaco.....</b>	<b>27</b>

4.1.1.	Carbonización del Polvo de Tabaco .....	27
4.1.2.	Producción de cenizas de Polvo de Tabaco a partir del Polvo Carbonizado .....	28
I.	Horno.....	28
II.	Metodología de la producción de cenizas .....	29
<b>4.2.</b>	<b>Ensayos de Morteros a realizar .....</b>	<b>31</b>
4.2.1.	Resistencia Mecánica .....	31
I.	Moldes.....	32
II.	Compactadora .....	32
III.	Metodología de la elaboración de las probetas .....	33
IV.	Máquina para compresión .....	34
V.	Metodología del ensayo de compresión .....	35
4.2.2.	Trabajabilidad .....	36
I.	Mesa de Sacudidas .....	37
II.	Molde de medio cono .....	37
III.	Metodología del Ensayo de Extendido .....	38
4.2.3.	Calor de Hidratación y tiempo de fraguado .....	39
I.	Calorímetro.....	40
II.	Metodología del Ensayo de Calorimetría .....	41
<b>4.3.</b>	<b>Mezcla utilizada en los ensayos .....</b>	<b>42</b>
4.3.1.	Procedimiento de elaboración de las muestras de morteros .....	42
I.	Mezcladora .....	42

II.	Metodología de elaboración de las mezclas .....	43
<b>4.4.</b>	<b>Plan Experimental.....</b>	<b>44</b>
CAPÍTULO 5 RESULTADOS.....		47
5.1.	Ensayo de Compresión .....	47
5.2.	Ensayo de Extendido.....	49
5.3.	Calorimetría.....	50
CAPÍTULO 6 BENEFICIOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE .....		53
6.1.	Contaminantes en la Industria Cementera:.....	53
6.2.	Desarrollo Sostenible de la Industria Cementera .....	54
6.2.1.	Economía Circular Regenerativa .....	54
6.2.2.	Gestión Ambiental .....	55
6.2.3.	Huella de Carbono.....	56
I.	Emisión de CO <sub>2</sub> .....	57
6.2.4.	Co – procesamiento del polvo de tabaco.....	60
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES.....		63
BIBLIOGRAFÍA .....		65

# Introducción

El cemento es por excelencia uno de los materiales más utilizados para la construcción. Existen diferentes tipos de cementos cuyas especificaciones varían según el tipo de uso.

El más utilizado en construcción es el cemento hidráulico llamado portland. Se lo conoce como "cemento hidráulico" ya que reacciona químicamente con el agua que es la que desencadena el grado de endurecimiento. Cuenta también con otros aditivos (grava y arena) que dan como resultado el concreto.

Existen diferentes tipos de cementos portland. Sus principales usos son para la construcción de viviendas, edificaciones, estructuras, se usa en obras de construcción general o expuestas a la acción moderada de sulfatos como tuberías de hormigón y puentes.

El proceso de producción del cemento requiere una gran cantidad de energía térmica y eléctrica, y demanda una enorme cantidad de materia prima no renovable. Este proceso emite grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y otros gases como SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que causan gran impacto al medio ambiente y contribuyen al calentamiento global. Según análisis hechos hasta 2014, la producción de cemento portland emite entre el 5 y 8% del CO<sub>2</sub> mundial. En Argentina, el factor de emisión asociado a la producción de cemento es de 629 kg de CO<sub>2</sub> / tonelada de cemento, de los cuales 50% corresponde del proceso de calcinación de caliza, el 35% al consumo de combustible en el horno y menos del 15% corresponde a emisiones indirectas vinculadas al consumo eléctrico de los procesos de molienda. A su vez, la generación de gases de efecto invernadero procedentes de la industria del cemento representa menos del 2% de las emisiones antropogénicas nacionales.

Por ello, es necesario innovar con diferentes tipos de cemento de bajo carbono que puedan ofrecer una solución sostenible a largo plazo para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Algunas de las soluciones más comunes para este problema consisten en el agregado de adiciones minerales, por ejemplo, cenizas, que se obtienen a partir de subproductos industriales generando un menor uso de recursos energéticos.

En esta tesis analizaremos la incorporación de subproductos de desecho de la industria del tabaco en reemplazo de aditivos tradicionales. Demostraremos que dicha incorporación traerá como consecuencia directa el menor consumo de energía y un mejor aprovechamiento de los recursos minerales.

# Capítulo 1

## Marco General del cemento y el tabaco

### 1.1. Producción de Cemento en Argentina

Los comienzos de la industria cementera en Argentina se remontan a 1926 cuando se funda Loma Negra Cía. Industrial Argentina S.A. La fábrica de cemento portland se instala en Olavarría, provincia de Buenos Aires.

El hormigón es uno de los materiales más utilizados para la construcción en el mundo. Gracias a su durabilidad y resistencia es protagonista en las principales obras civiles y de arquitectura del mundo.

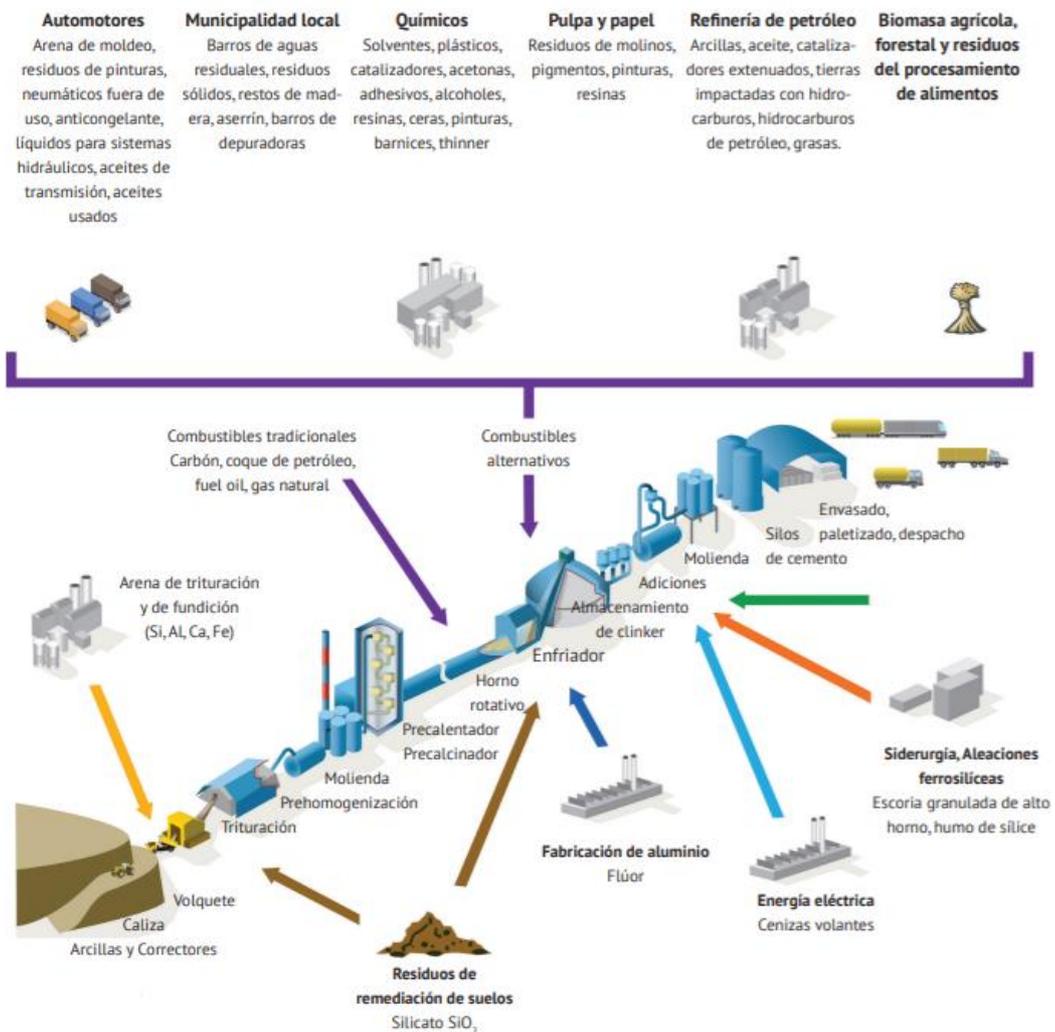
#### 1.1.1. Proceso productivo del cemento portland

El proceso cuenta con las siguientes etapas.

- Obtención y preparación de materias primas: el proceso de fabricación comienza con la extracción de piedra caliza y arcilla a través del barrenado y detonación de las canteras.
- Trituración: las grandes masas de piedras pasan a las trituradoras hasta obtener una granulometría adecuada, mediante impacto y/o presión.
- Pre - homogeneización: el material triturado se selecciona de forma controlada. Este paso permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad.
- Molienda de crudo: estos materiales se muelen para reducir su tamaño y favorecer así su cocción en el horno. Se utilizan molinos verticales.
- Pre - calentadores de ciclones: la alimentación al horno se realiza a través del pre - calentador de ciclones que calienta la materia prima para facilitar su cocción. El crudo que alcanza los 1.000°C antes de entrar al horno.
- Fabricación del Clinker: Calcinación: la materia prima es introducida en hornos rotativos que llegan a los 1.500 grados. A este nivel de calor comienzan diferentes reacciones químicas que dan lugar a un nuevo producto llamado Clinker.

- Fabricación del Clinker: Enfriamiento: el Clinker obtenido en el paso anterior es retirado e introducido en enfriadores cuya función es inyectar aire frío para reducir la temperatura del Clinker a 100 grados centígrados.
- Almacenamiento del Clinker obtenido
- Proceso de adición: el Clinker se mezcla con yeso y aditivos.
- Molienda de Clinker: el Clinker y los aditivos pasan a un molino rotativo hasta formar un polvo fino y homogéneo: el cemento.
- Almacenamiento del cemento: se almacenan en silos, separados según sus clases.
- Envasado o expedición a granel: el cemento se envasa en sacos o se descarga en un camión cisterna para su transporte.

*Ilustración 1: Proceso de elaboración del cemento*



*Fuente: Asociación de Fabricantes del Cemento Portland*

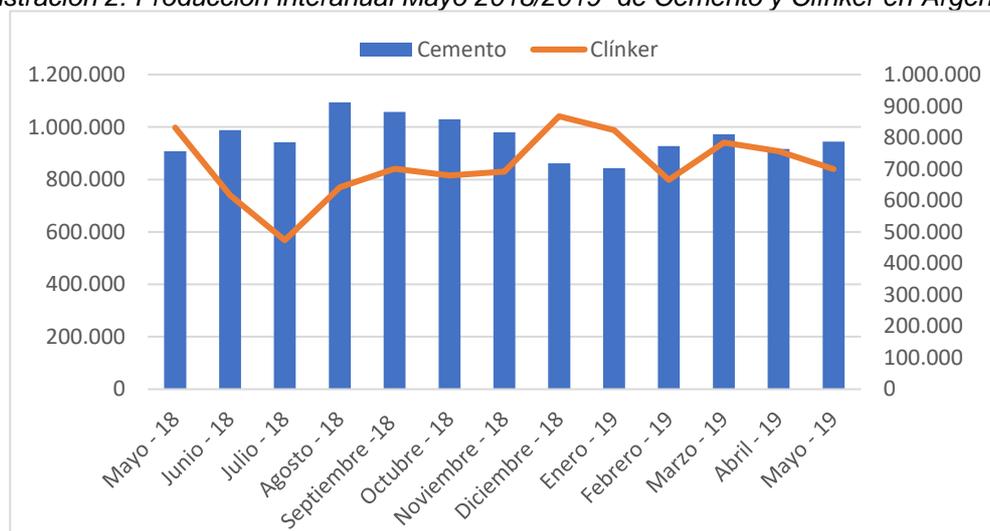
### 1.1.2. Estado de la producción de cemento en Argentina

En Argentina la industria del cemento está compuesta por cuatro productores:

- Loma Negra C.I.A.S.A
- Holcim (Argentina) S.A.
- Cementos Avellaneda S.A.
- PCR S.A.

Las fábricas cementeras se encuentran localizadas en las distintas zonas del país, contribuyendo positivamente, a través de sus actividades e iniciativas, al crecimiento económico y social de cada región, y del país en su conjunto.

*Ilustración 2: Producción interanual Mayo 2018/2019 de Cemento y Clínker en Argentina*



*Fuente: Elaboración Propia en base a datos de AFCP. [kg]*

### 1.1.3. Eficiencia energética de la producción de cemento

Según las últimas estadísticas realizadas hasta 2014, la industria cementera argentina logró mejorar sus procesos y reducir el consumo total de energía entre 2010 y 2014 desde 3,45 a 3,12 GJ / tonelada de cemento.

En el proceso de calcinación se consume cerca del 86% de la energía total del proceso de fabricación del cemento, por lo que, la optimización de esta etapa es fundamental para reducir el consumo de combustibles y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

El principal consumo de energía eléctrica se realiza en la etapa de molienda del cemento final. Si bien existen aditivos que ayudan al proceso, lo que deriva en un menor consumo de energía eléctrica, además de la modernización y desarrollo tecnológico de las plantas que reducen las pérdidas, muchos avances que buscan reducir el impacto ambiental de la producción de cemento, conlleva un mayor requerimiento energético, lo que impone un límite teórico a la eficiencia eléctrica de las plantas de cemento.

#### 1.1.4. Eficiencia de producto

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas aprobó los “17 Objetivos de Desarrollo Sostenible” un conjunto de objetivos globales que le dan la oportunidad a los países y a sus sociedades a emprender un nuevo camino para mejorar la vida de todos.

*Ilustración 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU*



*Fuente: <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>*

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en el número 12 “Producción y Consumo Responsable” se define que el consumo y la producción sostenible consiste en fomentar el uso eficiente de los recursos y la energía.

En este marco se puede afirmar que un producto es eficiente si cumple con las prestaciones requeridas a la vez que posee un ciclo de vida con bajo impacto ambiental.

Para poder adecuarse a este objetivo de Desarrollo Sostenible, uno de los puntos más importantes es controlar y reducir el factor de emisión de CO<sub>2</sub> en la producción de cemento tanto a nivel mundial como a nivel nacional. Para ello, las empresas trabajan en el desarrollo de cementos de bajo carbono que disminuyan la llamada “huella de carbono”,

indicador ambiental que refleja la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto, a lo largo de todo el proceso de producción. Es por todo esto que a nivel internacional se está llevando a cabo el desarrollo de cementos Eco – Eficientes.

Si bien se busca que los nuevos productos que se desarrollan sean sostenibles a largo plazo, también deben ser eficientes, es decir, cumplir con los requisitos para los cuáles se diseña, por ello, con el objetivo de mejorar las propiedades de los cementos, se pueden incorporar aditivos mejoradores de desempeño, que optimicen principalmente la función mecánica, reduzcan los tiempos de fragüe y mejore su trabajabilidad del hormigón.

En caso de no obtener una mejora en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, es importante poder reducir la cantidad de cemento portland utilizado ya que de esta forma se limitaría tanto el uso de un recurso natural no renovable como la contaminación producida al extraerlo.

## 1.2. Producción de Tabaco en Argentina

El noroeste argentino se caracteriza por ser una región donde abunda el cultivo del tabaco.

El tabaco argentino crece en cantidad y calidad. En las provincias de Salta y Jujuy existen 44.000 hectáreas plantadas con tabaco. Sólo del 20 al 25 % de esta producción tiene como destino el mercado interno, el resto se exporta en su mayoría a EE. UU., diversos países de Europa y en los últimos años a China.

En el año 2018, 27,5 millones de kg de tabaco fueron utilizados en el mercado argentino para la fabricación de cigarrillos y otros productos derivados del tabaco.

Ilustración 4: Situación de la producción de Tabaco en Argentina al año 2018



Fuente: [www.todoagro.com.ar](http://www.todoagro.com.ar)

Hemos podido investigar que las tabacaleras tienen como principal desperdicio el polvo de tabaco. Dicho polvo surge de la trituración y manipulación de la hoja del tabaco y es considerado un desperdicio.

Actualmente la legislación argentina, exige a las tabacaleras contaminar el polvo con Kerosene y/o cal antes de ser desechado en el basurero para evitar su uso o consumo.

Por lo tanto, en la siguiente investigación plantearemos al desperdicio de la producción tabacalera como una alternativa en la fabricación del concreto.

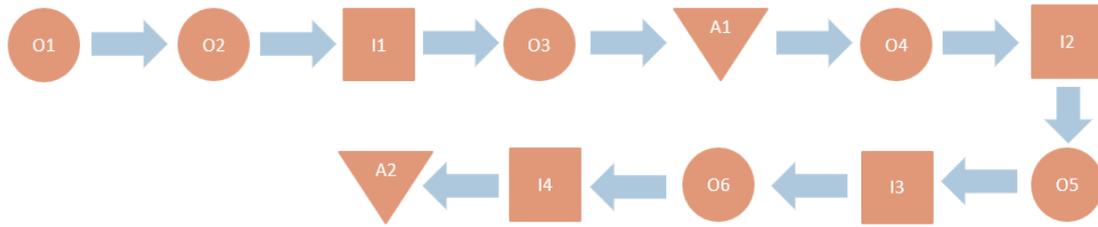
El polvo de tabaco será utilizado como aditivo mineral reduciendo la cantidad de cemento portland.

Demostraremos la mejora en las propiedades físico-mecánicas y desde el punto de vista medioambiental, la reducción de desperdicios y contaminantes desechados.

### 1.2.1. Proceso productivo del cigarrillo

Hoy en día en Argentina la mayoría de las tabacaleras producen cigarrillos según el siguiente proceso productivo:

Ilustración 5: Proceso productivo del cigarrillo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Operaciones, Inspecciones y Almacenamientos del proceso productivo del cigarrillo

O1	Alimentación del tabaco
O2	Elaboración de la varilla
I1	Inspección peso y diámetro
O3	Emboquillado
A1	Acumulador de cigarrillos
O4	Encajetillador de cigarrillos
I2	Inspección apariencia caja
O5	Celofanado caja
I3	Inspección celofanado
O6	Llenado de bultos
I4	Inspección física de bultos
A2	Almacenamiento de bultos

Fuente: elaboración propia

El polvo de tabaco antes mencionado es obtenido de las operaciones 1 (alimentación de tabaco), 2 (elaboración de la varilla) y 3 (emboquillado). Cada uno de estos procesos están, generalmente, provisto de extractores, los cuales succionan todo el polvo de tabaco y los envían a los respectivos contenedores. Estos contenedores suelen ser de cartón con una película (film) de polietileno en su interior para no perder nada de este polvo. La capacidad de los contenedores suele ser de entre 100 kilogramos a 150 kilogramos.

*Ilustración 6: Contenedor de polvo de tabaco*



*Fuente: Tabacalera argentina*

## Capítulo 2

### Objetivos e Hipótesis

#### 2.1. Objetivo General

Determinar las características físicas y mecánicas del cemento a partir de la sustitución de un porcentaje del cemento portland por ceniza de polvo de tabaco.

#### 2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la resistencia a la compresión en el mortero de cemento al adicionarle distintos porcentajes de ceniza de polvo de tabaco como sustituto de un porcentaje de cemento portland.
- Determinar la trabajabilidad del mortero fresco al adicionarle distintos porcentajes de ceniza de polvo de tabaco (como sustituto de un porcentaje de cemento portland).
- Determinar las propiedades generales que aportan las cenizas del polvo de tabaco al mortero de cemento.
- Determinar los beneficios económicos y energéticos que implica la producción de un cemento con un porcentaje de remplazo de ceniza de polvo de tabaco frente a un mortero convencional.

#### 2.3. Hipótesis

##### 2.3.1. Generalidades

Para la correcta evaluación del concreto fabricado a partir de cemento portland y ceniza de polvo de tabaco se plantearon las siguientes preguntas con el fin de desarrollar la investigación y plantear hipótesis.

##### 2.3.2. Pregunta General:

¿Cómo se modifican las características físicas y mecánicas del concreto a partir de la sustitución de un porcentaje de cemento portland por material puzolánico, en este caso ceniza de polvo de tabaco?

### 2.3.3. Preguntas Específicas:

- ¿Cómo se ve afectada la resistencia a la compresión del mortero a partir del agregado de cenizas de polvo de tabaco?

### 2.4. Hipótesis General:

La sustitución de un porcentaje de cemento portland por cenizas de tabaco tendrá como resultado beneficios ambientales (el polvo de tabaco es un desecho de la industria tabacalera), ahorro energético, al disminuir el uso de cemento portland y la mejora en las características físicas y mecánicas del concreto.

### 2.5. Hipótesis Específicas:

- La ceniza de polvo de tabaco cumple con las características básicas necesarias para ser utilizada como suplemento en cierto porcentaje del cemento portland. Sin generar impactos ambientales adversos.
- Al agregarle ceniza de polvo de tabaco el concreto, mejora su resistencia a la compresión respecto al concreto sin adición de ceniza.
- Comportamiento del mortero al ser afectada la resistencia a la compresión a partir del agregado de cenizas de polvo de tabaco

# Capítulo 3

## Materiales

### 3.1. El concreto

El concreto es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. (Abanto Castillo, 1994)

En el siguiente trabajo, se estudiará un concreto formado a partir de los siguientes materiales:

- Cemento portland
- Ceniza de polvo de tabaco
- Agregados áridos (arena normalizada)
- Agua

### 3.2. Adiciones minerales

La adición de minerales se puede clasificar según el grado de actividad. Las adiciones activas se subdividen en hidráulica latente (escoria granulada de alto horno y cenizas volantes cálcicas) y en puzolánicas (puzolanas naturales, cenizas volantes, humos de Sílice y arcillas activadas). Las adiciones inactivas o cuasi-activas es el filler calcáreo.

A continuación, presentamos algunas definiciones extraídas de distintas normas.

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, indica: "las puzolanas son materiales silíceos o aluminosilíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua

reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes”.

La norma 116 R de la ACI (American Concrete Institute) define: Material silíceo o silicoaluminoso, que en sí mismo puede poseer un pequeño o nulo valor cementante, pero finamente dividido y en presencia de humedad reacciona químicamente con hidróxido de calcio a temperatura normal formando compuestos con propiedades cementicias.

La norma IRAM 50.000 define: “Los materiales puzolánicos son sustancias naturales o industriales silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas en la elaboración de cementos definidos por esta norma, se utilizarán las puzolanas que cumplan con los requisitos establecidos en la IRAM 1668”.

La norma ASTM C 618-03 divide en tres los tipos de ceniza:

- Clase N: Puzolanas naturales calcinadas o sin calcinar, como algunas tierras diatomáceas; horstenos opalinos y pizarras; tobas y cenizas volcánicas o punticas, calcinadas o sin calcinar; y materiales varios que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y pizarras.
- Clase F: Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón antracítico o bituminoso. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.
- Clase C: Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón sub bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante además de tener propiedades puzolánicas tiene propiedades cementicia.

Las cenizas que deben ser empleadas para la elaboración del concreto deben ser cenizas de Clase F, no son recomendables las cenizas de Clase C, porque tienen exceso de cal y poco de óxido de alúmina y óxido de fierro. (Rivva López, 2010)

### 3.3. Cemento

Según la norma IRAM-ISO/IEC 17000 el cemento es un conglomerante hidráulico obtenido como producto en una fábrica, que contiene al Clinker portland como constituyente necesario. Es material inorgánico finamente dividido que, amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece en virtud de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad bajo agua.

### 3.3.1. Cemento para uso general

Los cementos de uso general son utilizados en la construcción con diversos fines. Es decir, no tienen fines solo estructurales, tienen diversas aplicaciones.

Tabla 2: Tipos de cemento y composición

Tipo de cemento <sup>(5)</sup>	Nomenclatura	Composición <sup>(2)</sup> (g/100 g)				
		Clinker + sulfato de calcio	Componentes principales			Componentes minoritarios
			Adiciones			
			Puzolana y/o ceniza volante silíceas (P y/o CV)	Escoria (E)	"Filler" calcáreo (F)	
Cemento pórtland normal	CPN	100-95	-	-	-	0-5
Cemento pórtland con "filler" calcáreo	CPF	94-75	-	-	6-25	0-5
Cemento pórtland con escoria	CPE	94-65	-	6-35	-	0-5
Cemento pórtland compuesto <sup>(3)</sup>	CPC	94-65	dos o más, con: $6 \leq (P \text{ y/o } CV + E + F) \leq 35$ y con $F \leq 25$			0-5
Cemento pórtland puzolánico <sup>(4)</sup>	CPP	85-50	15-50	-	-	0-5
Cemento de alto horno	CAH	64-25	-	36-75	-	0-5

Fuente: Norma IRAM 50.000

### 3.3.2. Componentes principales

Todos los tipos de cemento tienen como base Clinker portland y sulfato de calcio. Luego constan de adiciones minerales puzolanas, escoria o filler calcáreo.

Sus porcentajes varían según cada tipo de cemento.

El CPN puede contener hasta 10% de escoria como adición.

#### I. Clinker de cemento portland

El Clinker de cemento portland es el producto que se obtiene por cocción hasta fusión parcial (clinquerización), de mezclas íntimas, denominadas crudos, preparadas artificial y convenientemente dosificadas a partir de materias calizas y arcillas, con la inclusión de otros materiales que, sin aportar elementos extraños a los de la composición

normal del cemento, facilitan la dosificación de los crudos deseada en cada caso. (Norma IRAM 50000)

## II. Sulfato de calcio

El sulfato de calcio puede ser yeso, (sulfato de calcio dihidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hemihidratado (sulfato de calcio hemihidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrita (sulfato de calcio anhidro,  $\text{CaSO}_4$ ), o una mezcla de ellos. El sulfato de calcio también puede obtenerse como subproducto de procesos industriales.

El sulfato de calcio se debe añadir en pequeñas cantidades a los demás componentes del cemento durante su fabricación para controlar el fraguado.

Tabla 3: Requisitos de las adiciones

Adición	Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
"Filler" calcáreo	Óxido de calcio (CaO) expresado como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ )	g/100 g	75,0	–	IRAM 1504
	Arcilla		–	1,2	IRAM 1594
	Carbono orgánico total (TOC)		–	0,50	IRAM 1599
	Pérdida por calcinación (PPC)		33,0	–	IRAM 1504
Escoria de alto horno	Sulfuro, expresado como $\text{S}^{2-}$	g/100 g	–	1,5	IRAM 1655
	Relación $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2$	–	1,0	–	
	Índice de vitrificación	g/100 g	90	–	
Puzolana <sup>1)</sup>	Actividad puzolánica con cemento pòrtland	%	75	–	IRAM 1654
Ceniza volante sílicea	Actividad puzolánica con cemento pòrtland	%	75	–	IRAM 1654
	Pérdida por calcinación	g/100 g	–	10	IRAM 1504 <sup>2)</sup>

Fuente: Norma IRAM 50.000.

### 3.3.3. Componentes minoritarios

Son materiales minerales naturales o artificiales, o materiales minerales derivados del proceso de fabricación de Clinker, especialmente seleccionados.

Los componentes minoritarios, mediante una preparación adecuada y en función de su granulometría, mejoran las propiedades físicas de los cementos (tales como la trabajabilidad o la retención de agua). Pueden ser inherentes o poseer propiedades ligeramente hidráulicas latentes o puzolánicas. Sin embargo, no se especifican requisitos a este respecto.

Los componentes minoritarios deben estar correctamente preparados, es decir, seleccionados, homogeneizados, secados y pulverizados, en función de su estado de producción o suministro. No deben aumentar sensiblemente la demanda de agua del cemento, no deben disminuir la resistencia al deterioro del hormigón o del mortero en ningún caso, ni deben reducir la protección de las armaduras frente a la corrosión.

#### I. Escoria granulada de alto horno

Material granular vítreo formado cuando la escoria de alto horno en estado líquido se enfría bruscamente.

#### II. Puzolana

Material silíceo o silicoaluminoso, o combinación de ambos, de origen natural o resultante de un proceso de calcinación, que posee propiedades puzolánicas.

#### III. Ceniza volante silícea

Material pulverulento fino de partículas esféricas vitrificadas, que posee propiedades puzolánicas. Consta esencialmente de dióxido de silicio reactivo ( $\text{SiO}_2$ ) y óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). El resto contiene óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y otros compuestos.

#### IV. Filler calcáreo

Material calcáreo de naturaleza inorgánica y origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonato de calcio.

### 3.3.4. Categorías de cementos

A los cementos se los clasifica en tres categorías, según su resistencia mecánica a la compresión, expresada en MPa (mega pascales): CP30 – CP40 – CP50.

Los dígitos indican la resistencia mínima a la compresión a los 28 días de fabricación, que debe ser garantizada por el fabricante, determinada sobre probetas de mortero de cemento.

De acuerdo con la Ficha Técnica no 5, 30/10/98 emitida por JUAN MINETTI S.A. – La categorización de cementos apunta a ayudar al usuario a diferenciar los productos que se encuentran en el mercado facilitándole la selección del cemento adecuado para una determinada aplicación.

La elección de una u otra dependerá de los requerimientos o prestaciones buscadas en el mortero u hormigón a elaborar.

Así, si se quiere producir un Hormigón de Alto Desempeño, será más fácil lograrlo a partir de un cemento CP50.

La industria del Hormigón elaborado utiliza generalmente CP40 para sus formulaciones. Los CP30 son elegidos para hormigones convencionales. También esta categoría suele resultar conveniente cuando por algún motivo (durabilidad) se especifique un alto contenido de cemento, sin necesidad de alcanzar altas resistencias.

### 3.3.5. Designación de los cementos para uso general

El cemento portland de uso general es el normal, usado en la construcción de obras de hormigón, viviendas, edificaciones, estructuras, se utiliza cuando las especificaciones de construcción no indican el uso de otro tipo de cemento.

*Tabla 4: Requisitos Mecánicos*

Categoría	Resistencia a la compresión (MPa)			
	2 d	7 d	28 d	
CP 30	-	mín. 16	mín. 30	máx. 50
CP 40	mín. 10	-	mín. 40	máx. 60
CP 50	mín. 20	-	mín. 50	-

*Fuente: Norma IRAM 50.000.*

Ejemplos:

CPN50: Cemento Portland Normal, Categoría 50.

CPF 40: Cemento Portland con Filler Calcáreo, Categoría 40.

Las tres letras indican el tipo de cemento; los dos dígitos, la categoría de resistencia a la que pertenece el cemento (30, 40 ó 50 MPa).

### 3.3.6. Cementos con propiedades especiales

En la norma IRAM 50001 se establecen los requisitos establecidos para los cementos que poseen propiedades especiales.

Ciertas propiedades son modificadas con el fin de obtener una mayor utilidad para determinadas aplicaciones particulares.

Tabla 5: Descripción de la Nomenclatura para cada tipo de cemento

<b>Designación</b>	<b>Nomenclatura</b>
De Alta Resistencia Inicial	ARI
Altamente Resistente a los Sulfatos	ARS
Moderadamente Resistente a los Sulfatos	MRS
De Bajo Calor de Hidratación	BCH
Resistente a la Reacción Alcali-Agregado	RRAA
Blanco	B

Fuente: Norma IRAM 50.001

#### I. De alta resistencia inicial

Su resistencia a la compresión a los 3 días es igual a la resistencia a la compresión a los 7 días.

Es usado cuando se necesita un hormigón que debe ser desencofrado antes de los 28 días y recibirá cargas muy pronto, como en el caso de los elementos prefabricados o construcciones de emergencia.

#### II. Altamente resistente a los sulfatos

Este tipo se usa en las estructuras expuestas a los sulfatos alcalinos del suelo o del agua, a los sulfatos de las aguas freáticas y para exposición al agua de mar.

#### III. Moderadamente resistente a los sulfatos

Se usa en obras de construcción en general y en construcciones expuestas a la acción moderada de los sulfatos, o que requieren un calor de hidratación moderado, es el cemento utilizado en la realización de tuberías de hormigón y puentes.

#### IV. De bajo calor de hidratación

Es usado cuando se necesita un bajo calor de hidratación sin producirse dilataciones durante la etapa de fraguado. El calor desprendido durante la hidratación se produce más lento. Es utilizado en estructuras de hormigón muy grandes, como los diques.

#### V. Resistente a la reacción álcali-agregado

La reacción álcali-agregado puede observarse en las fisuras de las masas del concreto. Son causadas por el aumento de volumen y el deterioro de las estructuras, convirtiéndose vulnerables a las cargas externas.

#### VI. Blanco

Es utilizado para piezas prefabricadas, acabados de suelos y albañilería en general. Su color se debe a la ausencia de óxidos férricos. El calcinado del material se produce a temperaturas más altas. Necesita más agua y su tiempo de inicio de fraguado es menor que el del cemento gris.

#### 3.3.7. Cementos portland puzolánicos

Se consideran cementos puzolánicos aquellos cementos que poseen un agregado mínimo del 15%.

En general, a diferencia de un tipo de cemento normal, este tipo de cementos da hormigones con un calor de hidratación menor, lo que lo hace más apropiado para el llenado de estructuras masivas. Además, el crecimiento de resistencia suele ser menor, son más lentos, pero con una evolución de resistencia a largo plazo mayor. Suelen ser hormigones más resistentes a determinados medio ambientes agresivos y comportarse de mejor modo con agregados potencialmente reactivos. Los hormigones suelen ser menos permeables y por lo tanto mejoran la durabilidad.

Son utilizados en construcción en general y construcciones que no requieran alta resistencia inicial. Son fabricados a partir de Clinker de cemento portland o cemento de alto horno y una puzolana adecuada. Los ensayos utilizados en este tipo de cemento son similares a los del cemento de uso general.

La principal característica de la puzolana es que fija el hidróxido de calcio a temperatura ambiente, más el agregado del agua, compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

Las puzolanas pueden ser naturales (tierra de acaloradas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas), material calcinado (los anterior mencionados y algunos como arcillas y esquistos más comunes) y material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas).

Este tipo de cementos requiere una mayor demanda de agua, posee una buena trabajabilidad y bombeabilidad. También cuenta con una menor resistencia inicial y una mayor resistencia final. Tiene una mayor retracción y menor calor de hidratación.

Aplicaciones:

- Albañilería general.
- Pavimentos.
- Estructuras de hormigón en las que se requiera un cemento de más de 40 Mpa de resistencia a la compresión a 28 días.
- Estabilización de suelos.
- Hormigón compactado a rodillo (HCR).
- Estructuras con elementos de gran volumen.
- Obras hidráulicas o en contacto con agua de mar.

### 3.4. El agua

El agua es fundamental para que la mezcla de concreto desarrolle su capacidad ligante. Al reaccionar químicamente la masa de concreto con el agua, permite una buena manipulación y colocación. Gracias a esta reacción, una vez fraguado el cemento adopta las características y propiedades buscadas.

Para una determinada cantidad de cemento existe una proporción de agua que debe ser agregada para la hidratación de este. De todas formas, se agrega más agua para aumentar la fluidez de la pasta y lubricación de los agregados. Gracias a ella se obtiene una buena manipulación mientras la mezcla esta fresca. De todas formas, no se recomienda excederse con el agua ya que crea porosidad.

El agua utilizada debe ser potable, apta para el consumo humano. No debe contener aceites, sustancias alcalinas, ácidos y materias orgánicas.

La calidad del concreto depende de las sustancias que se encuentran en el agua para el curado. Por ejemplo, el hierro o la materia orgánica disueltos en el agua pueden producir manchas en el concreto.

### 3.5. Agregados

Los agregados son materiales granulados provenientes en la mayoría de los casos de rocas o gravas naturales y arenas, en otros casos obtenidos a partir de procesos Industriales (escoria, arcilla expandida, etc.)

Los agregados son utilizados como el relleno más económico a la vez que otorgan mayor estabilidad dimensional y resistencia al desgaste y absorción. Influyen sobre las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los hormigones.

Existen dos tipos de clasificaciones: por peso y por tamaño. La clasificación más utilizada, en el 90% de los casos, es por peso.

La clasificación por peso puede ser, pesado, peso normal o liviano y por tamaño puede ser fino o grueso.

#### 3.5.1. Clasificación de los agregados por tamaño

##### I. Agregado fino

El agregado fino consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas es generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural es constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos y durables.

##### II. Agregado grueso

El agregado grueso es una de las principales materias primas para fabricar concreto, por esta razón debe utilizarse la mayor cantidad posible y del mayor tamaño.

##### III. Propiedades del hormigón y de los agregados

El agregado grueso es una de las principales materias primas para fabricar concreto, por esta razón debe utilizarse la mayor cantidad posible y del mayor tamaño

El volumen que ocupan los agregados en 1m<sup>3</sup> de hormigón es de aproximadamente entre 70 y 80% del total.

Tabla 6: Propiedades de los agregados en el hormigón

Propiedades del hormigón	Propiedad de los Agregados
<b>Durabilidad</b>	
Resistencia al Congelamiento y Deshielo	Porosidad y Estructura de Poros, Permeabilidad, Grado de saturación, Resistencia a Tracción, Textura y estructura, Minerales Arcillosos
Resistencia al Mojado y Secado	Estructura de Poros y Módulo de Elasticidad
Resistencia al Calentamiento y Enfriado	Coefficiente de Expansión Térmica
Resistencia a la Abrasión	Dureza
Reacción Alcali-Agregado	Presencia de sílice amorfa
<b>Resistencia</b>	Resistencia, Textura Superficial, Limpieza, Forma de La Partícula, Tamaño Máximo
<b>Deformaciones</b>	
Contracción y Creep	Módulo de Elasticidad, Forma de la Partícula, Distribución de Tamaños, Limpieza, Tamaño Máximo, Presencia de Arcillas
Módulo de Elasticidad	Módulo de Elasticidad, Módulo de Poisson
<b>Térmicas</b>	
Coefficiente de Expansión Térmica	Coefficiente de Expansión Térmica, Módulo de elasticidad
Conductividad Térmica	Conductividad Térmica
Calor Específico	Calor Específico
<b>Peso Unitario</b>	Densidad, Forma de la Partícula, Distribución de Tamaños y Tamaño Máximo
<b>Economía</b>	Forma de la Partícula, Distribución de Tamaños, Tamaño Máximo, Cantidad de Procesamiento Necesario, Disponibilidad

Fuente: Apuntes cátedra Tecnología del Hormigón (U.C.A.)

### 3.5.2. Granulometría

Es fundamental conocer la distribución de los tamaños de los agregados en función de sus volúmenes y su composición granulométrica.

#### I. Módulo de finura

Se calcula como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de aquellos tamices que corresponden a la serie estándar.

Tabla 7: Apertura de mallas según denominación

Denominación de Tamiz	Apertura de Malla
3/8"	9,5 mm
Nº 4	4,75 mm
Nº 8	2,36 mm
Nº 16	1,18 mm
Nº 30	600 mm
Nº 50	300 mm
Nº 100	150 mm

Fuente: Elaboración propia según norma IRAM 50.000

## II. Curvas granulométricas teóricas

Numerosos investigadores trataron de encontrar expresiones matemáticas que ajustaban una distribución de tamaños tal que hacía mínimo el porcentaje de vacíos. En la mayoría de los casos dichas expresiones responden a la siguiente forma:

*Ecuación 1: Distribución de tamaño del agregado en %*

$$\% \text{ que pasa por el tamiz } (i) = \frac{\text{Diam } (i)}{T.M.N} \times x$$

*Fuente: Elaboración propia.*

Donde: % que pasa por el tamiz: complemento a 100 del porcentaje retenido acumulado para el mismo tamiz.

Diam(i): abertura de malla correspondiente al tamiz que se está analizando.

T.M.N.: Tamaño máximo nominal correspondiente a la granulometría ideal.

x: exponente que varía según los reglamentos y/o recomendaciones; depende además del tipo de agregado. En el caso particular de la parábola de Fuller  $x = 0.5$ .

En Argentina, los valores obtenidos de porcentaje que pasa por el tamiz deben encuadrarse dentro de los límites dados por las curvas A, B, C según el reglamento CIRSOC 201. Las curvas granulométricas medidas para el agregado fino y el agregado grueso utilizado en este trabajo fueron las siguientes:

*Tabla 8: Datos para la confección de las curvas A, B, C según CIRSOC 201*

<b>IRAM</b>	<b>ASTM</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
9,5 mm	3/8"	100	100	100
4,75 mm	N° 4	95	100	100
2,36 mm	N° 8	80	100	100
1,18 mm	N° 16	50	85	100
600 mm	N° 30	25	60	95
300 mm	N° 50	10	30	50
150 mm	N° 100	2	10	10

*Fuente: Elaboración propia según CIRSOC 201.*

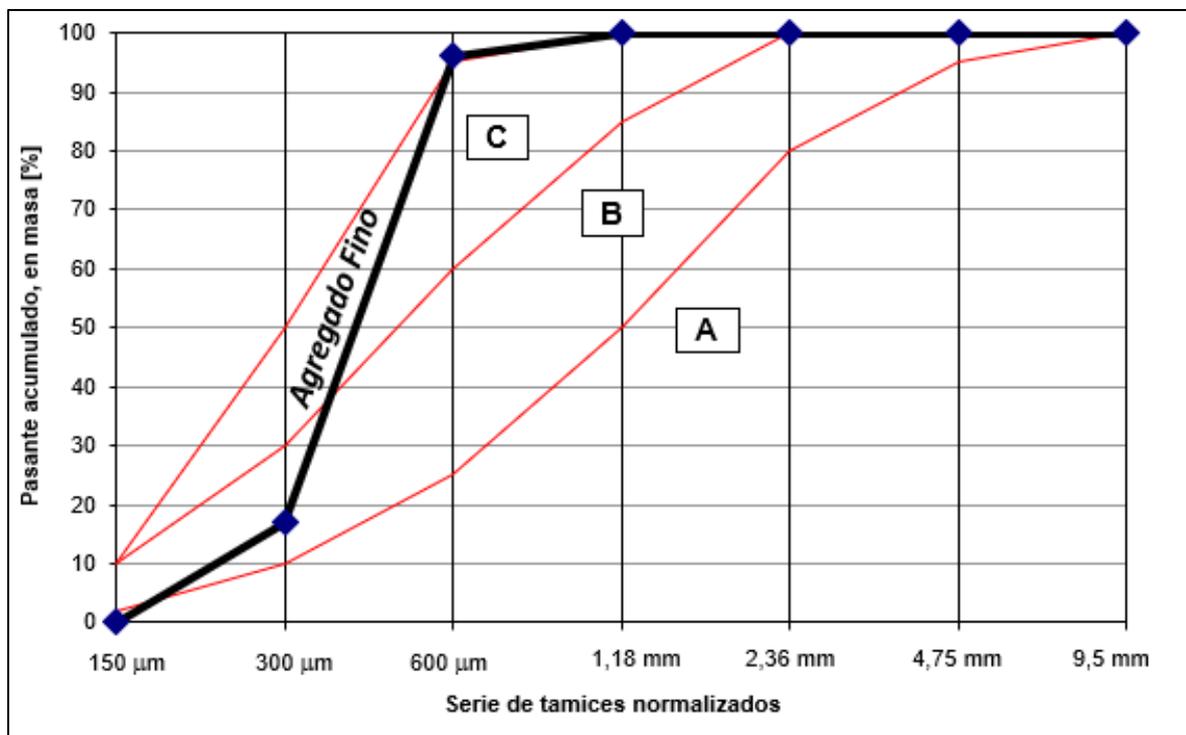
- Agregado Fino:

Tabla 9: Análisis granulométrico para el agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (IRAM 1505)								
Tamiz IRAM	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,60 mm	0,30 mm	0,15 mm
% pasante acumulado	100	100	100	100	100	96	17	0
% retenido ac. Módulo. Finura	0	0	0	0	0	4	83	100
Módulo de finura:	<b>1,87</b>							

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7: Gráfico de granulometría del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

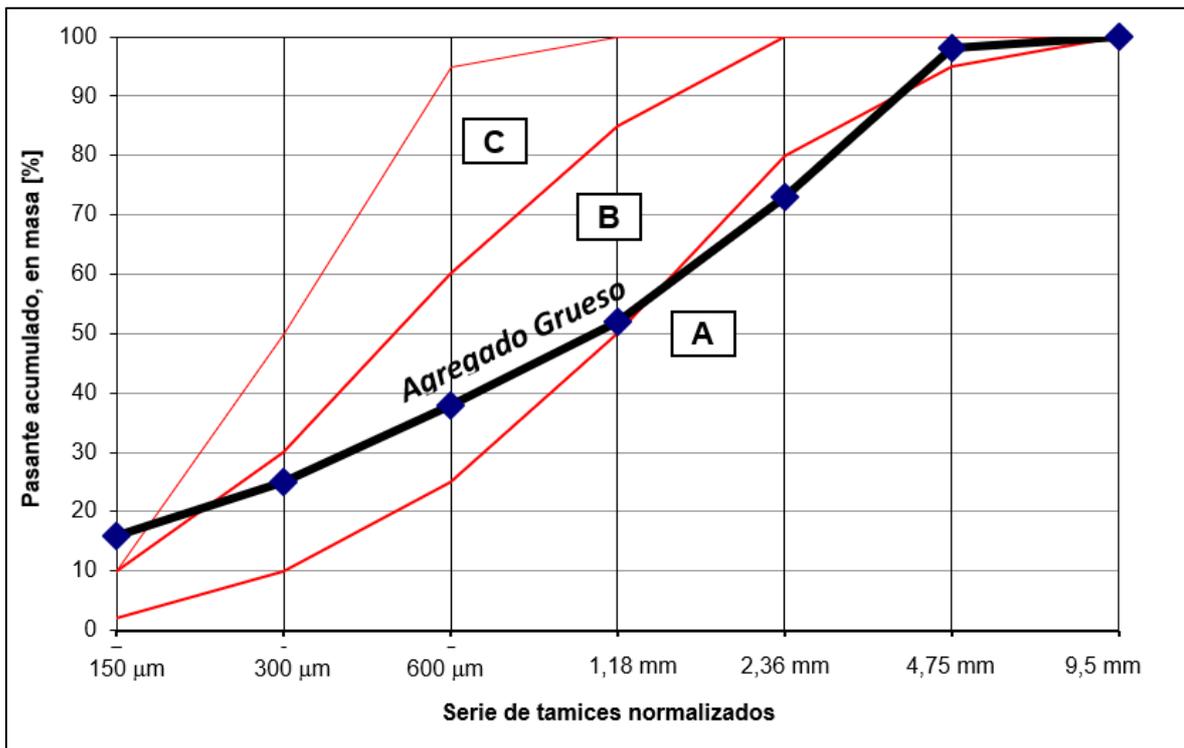
- Agregado Grueso:

Tabla 10: Análisis granulométrico para el agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (IRAM 1505)								
Tamiz IRAM	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,60 mm	0,30 mm	0,15 mm
% pasante acumulado	100	100	98	73	52	38	25	16
% retenido ac. Módulo Finura	0	0	2	27	48	62	75	84
Módulo de finura:	<b>2,98</b>							

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8: Gráfico de granulometría del agregado grueso triturado



Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 4

### Metodologías y Plan Experimental

#### 4.1. Producción de Cenizas de Polvo de Tabaco

##### 4.1.1. Carbonización del Polvo de Tabaco

Se utilizaron muestras de cenizas de polvo de tabaco provenientes de la industria tabacalera de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

En primer lugar, se realizó un proceso de carbonización del polvo de tabaco, para ello se utilizó un tanque de chapa con capacidad de 200 litros de 90 cm de altura y diámetro 60 cm. cómo se aprecia en la siguiente ilustración (9).

*Ilustración 9: Tanque de chapa y polvo de tabaco*



*Fuente: Elaboración propia*

Se colocó parte del polvo de tabaco en el tanque y con el agregado de alcohol se procedió a la quema de este. A su vez, se colocaron maderas bajo el tanque las cuales también se encendieron para aportar calor desde la parte inferior del mismo. Este procedimiento se realizó a cielo abierto debido a los humos que emana el proceso.

Una vez se obtuvieron cenizas, se procedió al enfriamiento de las mismas.

En las figuras siguientes se observa cómo se realizó todo el procedimiento.

*Ilustración 10: Proceso de quema del polvo de tabaco (izquierda) y de enfriamiento de las cenizas obtenidas (derecha)*



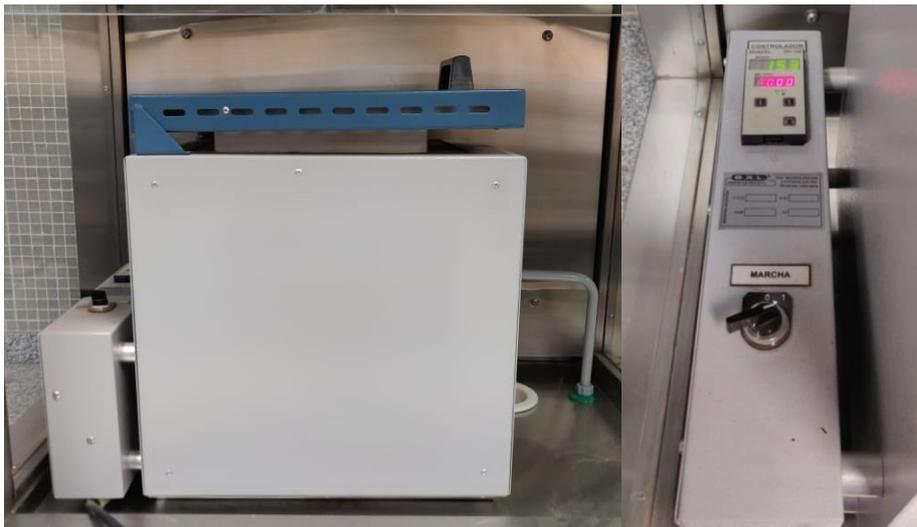
*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2. Producción de cenizas de Polvo de Tabaco a partir del Polvo Carbonizado

##### I. Horno

Para la obtención de cenizas se realizó el proceso de calcinación del polvo carbonizado de tabaco haciendo uso del horno de cocción modelo DHACEL DH 102, el cual nos permitió alcanzar temperaturas superiores a los 800°C.

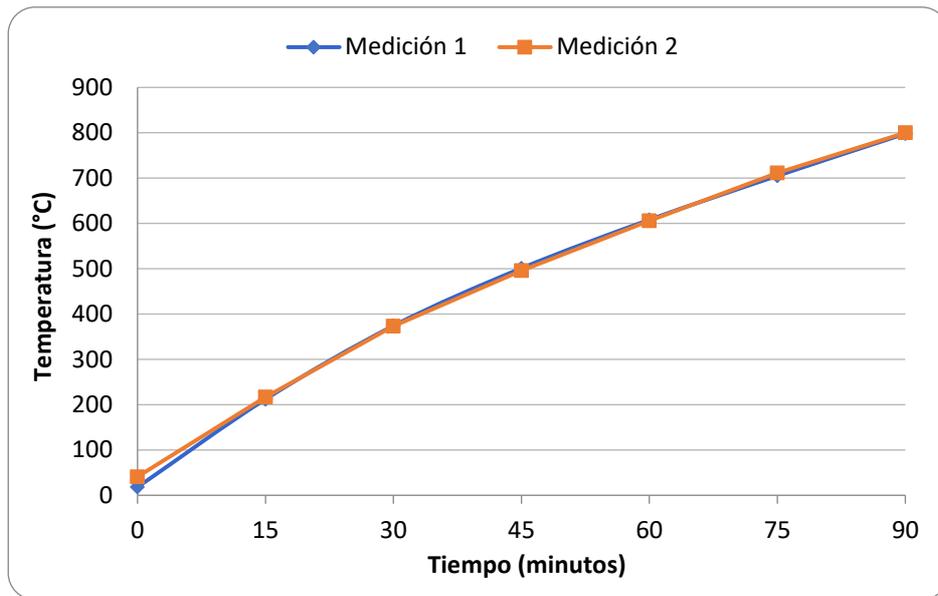
*Ilustración 11: Horno DHACEL DH 102 (izquierda), controles del horno (derecha).*



*Fuente: Elaboración propia.*

Para conocer las características del horno, se midió la inercia del calor de este obteniéndose los siguientes resultados:

Ilustración 12: Inercia del horno DHACEL DH 102 hasta los 800 °C



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos se pudo determinar que el horno tardaba 90 minutos en elevar su la temperatura hasta los 800°C.

## II. Metodología de la producción de cenizas

El procedimiento utilizado para la producción de las cenizas fue:

1. Se midió una masa de polvo de tabaco de entre 200 y 350 gramos.
2. Se colocó la materia prima en el crisol del horno.
3. Se procedió al encendido del horno y su programación para elevar la temperatura entre 800 y 900 °C, según se acordó previamente, una vez alcanzada la temperatura (a partir de los 90 minutos se alcanza los 800°C como se demostró en el apartado anterior) esta se mantenía constante durante una hora con el horno encendido.
4. El enfriamiento de las cenizas se dio en el crisol del horno con el mismo abierto por aproximadamente 24 horas, en el crisol del horno.
5. Por último, se retiraron las cenizas del crisol y se calculó la pérdida de masa por calcinación.

*Ilustración 13: Producción de elaboración de cenizas en el horno: medición de cenizas y crisol (superior izquierda), crisol en el horno antes del encendido del horno (superior derecha), estado del crisol y las ceniza a aproximadamente 600 °C (inferior izquierda) y estado del crisol y las cenizas a 800°C (inferior derecha)*



*Fuente: Elaboración propia.*

La pérdida por incineración se calculó en cada caso por masa y porcentaje según las siguientes ecuaciones.

*Ecuación 2: Pérdida de masa de polvo de tabaco en Kg. por el proceso de calcinación porcentual*

$$\text{Pérdida por calcinación \%} = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100$$

*Fuente: Elaboración propia.*

Dónde:  $M_i$  es la masa de la muestra en gramos.  
 $M_f$  es la masa de la muestra en gramos.

Tabla 11: Reducción de polvo carbonizado a ceniza de polvo de tabaco

N° Batch	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Reduccion (g)	Reduccion (%)	Temp. Máx. (°C)
1	200,0	141,7	58,3	29,2	900
2	350,0	265,0	85,0	24,3	800
3	350,0	264,6	85,4	24,4	800
4	351,1	277,1	74,0	21,1	800
5	350,0	273,7	76,3	21,8	850
6	350,0	284,4	65,6	18,7	800
7	350,0	288,4	61,6	17,6	800
8	350,0	273,9	76,1	21,7	800
9	356,4	275,0	81,4	22,8	800
<b>Total</b>	3007,5	2343,8	663,7	22,1	-

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos se ve que obtuvimos aproximadamente 2343,8 gramos de ceniza de polvo de tabaco, lo que significó una reducción porcentual del 22% del total de la masa de polvo de tabaco carbonizado.

## 4.2. Ensayos de Morteros a realizar

Para poder determinar las propiedades de los morteros y los efectos que el agregado de ceniza de polvo de tabaco efectúa sobre los mismo es determinante realizar ensayos para caracterizarlos tanto en estado fresco como endurecido, esto además nos determinará si nuestras mezclas se adecúan o no a los exigencias o usos que se puedan darle, según las normativas y legislaciones vigentes.

Para poder determinar qué tipo de ensayos y qué parámetros determinar, condicionado por el efecto del agregado puzolánico que se quiera medir es necesario considerar cuatro aspectos fundamentales: la resistencia mecánica, la estabilidad o trabajabilidad, durabilidad y el calor de hidratación.

En este trabajo final se desarrollaron tres de las cuatro características fundamentales, la resistencia mecánica, la trabajabilidad y el calor de hidratación, dejando el estudio de durabilidad para investigaciones futuras.

### 4.2.1. Resistencia Mecánica

La resistencia de los morteros se desarrolla principalmente por la hidratación del cemento, la estructura que se logra, integrada por los granos de arena rodeados por la pasta de cemento y los aditivos endurece poco a poco convirtiéndose en piedra artificial con el tiempo.

En este trabajo final se estudió la resistencia a la compresión, la característica mecánica más significativa para este tipo de material, siguiendo las normas IRAM 50.000 y 1.622.

Las probetas utilizadas fueron prismáticas de medidas normalizadas y ensayadas a 3, 7 y 28 días. Se eligieron estas tres edades ya que, además de ser las estandarizadas por las normas, el endurecimiento del concreto se produce mayormente en los días iniciales después de su elaboración, obteniéndose a los 3 días aproximadamente un 40 % de la dureza total, a los 7 días un 65% y a los 28 días el 99%, luego de este último tiempo, el concreto sigue adquiriendo mayor resistencia, pero es mínima a comparación a la que demuestra en días anteriores.

## I. Moldes

Los moldes utilizados que se muestran en las ilustraciones cumplen con lo especificado en la norma IRAM 50.000 y en la norma IRAM 1.622 según la cual se realizaron los ensayos. Las medidas de las probetas generadas fueron de 40x40x160 mm.

*Ilustración 14: Moldes para elaboración de probetas prismáticas*



*Fuente: Elaboración propia*

## II. Compactadora

Se utilizó una compactadora horizontal automática de marca COSACOV, que se compone principalmente por una mesa rectangular unida rígidamente por dos brazos ligeros y resistentes a un eje de rotación. El mecanismo de funcionamiento de la mesa consta de un martinete en el centro de su cara inferior que golpea un yunque de cara superior plana. Cuando el martinete reposa sobre el yunque, la mesa de la compactadora se encuentra horizontal y nivelada. Cuando la compactadora está en marcha, el conjunto mesa, molde, tolva y sistema de sujeción es levantado por una leva giratoria para dejar

caer el mismo libremente. La velocidad de este sistema está dada por un motor eléctrico que imprime una velocidad uniforme de 1 revolución por segundo, obteniendo así 60 golpes por minuto, lo que se adecúa a las normas.

Para la utilización de esta compactadora es necesario una tolva de llenado que se coloca sobre la mesa y se fija mediante los sistemas de sujeción como se muestra en las ilustraciones, gracias a esta se rellena de manera más sencilla los moldes.

*Ilustración 15: Compactadora COSACOV (izquierda), tolva de llenado (derecha)*



*Fuente: Elaboración propia.*

### III. Metodología de la elaboración de las probetas

Para la elaboración de las probetas prismáticas normalizadas se realizaron los siguientes pasos:

1. Se armó sobre la compactadora el sistema de molde más tolva de llenado unidos por el sistema de sujeción.
2. Se relleno el molde hasta la mitad y se encendió la compactadora.
3. Se realizaron los primeros 60 golpes con la máquina.
4. Luego se termina de llenar el molde con la mezcla faltante, sin tener en cuenta el excedente que pueda quedar.
5. Se vuelven a realizar 60 golpes con la máquina
6. Se retira la tolva de llenado y el molde de la máquina. Se retira excedente de material con la ayuda de una llana lisa.
7. Se envolvió el molde con una bolsa plástica para protegerlo y se lo dejó reposar 1 día antes de desmoldarlo y etiquetarlos.

8. Se introdujeron las probetas en agua dejando alrededor de un centímetro de agua por encima de las probetas. Se dejaron allí hasta que tuvieron que ser ensayadas.

*Ilustración 16: Primer agregado de material (arriba), llenado completo del molde (abajo)*



*Fuente: Elaboración propia*

#### IV. Máquina para compresión

Se utilizó una máquina de compresión de operación manual marca ELE International, que proporciona una plataforma de prueba de alta calidad que mejora el rendimiento de la máquina. Ofrece los beneficios de una operación simplificada, los más altos niveles de precisión en el análisis de muestras de concreto y cemento/mortero.

El bastidor de carga de la máquina es una fabricación de acero soldado que lleva una placa superior con asiento de bola. Ubicada positivamente en el pistón de carga, protegidos de los residuos por una cubierta flexible, la placa inferior está marcada para el centrado de las muestras de cubos, cilindros y accesorios.

*Ilustración 17: Máquina compresora ELE International (izquierda), accesorio para ensayos con probetas prismáticas (centro), motor y controles manuales de la máquina (derecha)*



*Fuente: Elaboración propia*

## V. Metodología del ensayo de compresión

1. Se extrajeron los cubos de las cubas en las cuales se encontraban sumergidos para mantener constante las condiciones de humedad y temperatura. Se secaron suavemente y se limpiaron los restos de arena o algún elemento superficial que afectara a las caras lisas que estarían en contacto con las superficies de la máquina.
2. Se colocó cuidadosamente cada probeta en la máquina, haciendo tope tanto en la parte posterior como en un lateral con los salientes ubicados para tal fin, cuidando de que el lado más rugoso de la probeta se encontrara en la cara que no tenía contacto con los elementos de la máquina.
3. Se encendió la máquina y se procedió a regular la velocidad con la cuál se iría aplicando la carga.
4. La máquina trabaja de forma automática cortando el aporte de carga cuando llega al máximo, es decir cuando la probeta falla, deteniéndose así el mecanismo y retirándose el pistón para dar lugar a la extracción de la probeta.

5. Se anotaron los valores de la carga máxima aplicada y se calculó la resistencia a la compresión como:

*Ecuación 3: Resistencia a la compresión*

$$f = \frac{\text{Carga}}{\text{Área transversal de la probeta}}$$

*Fuente: Elaboración propia.*

6. Luego de retirar cada probeta con la ayuda de un pincel se limpió las superficies de la máquina que tienen contacto con las probetas, para evitar incrustaciones no deseadas en las próximas probetas a ensayar.

*Ilustración 18: Compactación de probetas prismáticas*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2.2. Trabajabilidad

La manejabilidad es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con la que este puede ser: mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad.

La trabajabilidad, en sí, es la propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular, transportar, vaciar y manejar una cantidad mezclada de concreto fresco con una pérdida mínima de homogeneidad.

Diferentes factores influyen en la manejabilidad y la trabajabilidad del concreto como ser la granulometría del agregado fino, el agregado grueso, su forma y estructura.

Además, la manejabilidad del concreto fresco está determinada por el efecto lubricante de la pasta de cemento y agua, es decir su plasticidad dependerá de las cantidades relativas de agua y cemento.

Por lo tanto, la fluidez es un componente importante de la trabajabilidad, ya que es una medida de la consistencia de la pasta de cemento expresada en términos del incremento de diámetro de un espécimen moldeado por un medio cono, después de sacudirlo un número específico de veces.

#### I. Mesa de Sacudidas

Es un sistema mecánico manual que emplea una columna de base con un disco en la parte superior. En el soporte se halla una manivela que nos permite elevar el disco y dejarlo caer libremente.

*Ilustración 19: Mesa de sacudida manual*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### II. Molde de medio cono

El molde utilizado para el ensayo de fluidez consiste en un medio cono que mantiene la consistencia plástica del mortero para que este pueda mantenerse estable una vez se haya extraído el molde. Su diámetro se emplea para determinar la fluidez y es de 10 cm.

Ilustración 20: Molde de medio cono para ensayo de fluidez



Fuente: Elaboración propia.

### III. Metodología del Ensayo de Extendido

1. Se humedeció tanto la mesa de sacudías como el molde mientras se realizaba la mezcla.
2. Se rellenó hasta la mitad del molde con la mezcla realizada, se compactó con una varilla mediante golpes 15 veces, luego se terminó de llenar el molde y se volvió a compactar. Una vez terminado este proceso, se retiró el excedente.
3. Se retiró el molde cónico y se golpea la mezcla 25 veces mediante la manivela conectada al engranaje que deja caer la mesa libremente.
4. Se tomaron las medidas de 4 diámetro ortogonales.
5. Se calculó la fluidez, a partir del diámetro promedio de las medidas tomadas anteriormente, mediante la ecuación:

*Ecuación 4: Porcentaje de fluidez de la muestra*

$$\%fluidez = \frac{\text{Diam. Promedio} - \text{Diam. Molde}}{\text{Diam. Molde}} \times 100$$

Fuente: Elaboración propia.

*Ilustración 21: Primer agregado de material y su correspondiente compactación*



*Fuente: Elaboración propia*

*Ilustración 22: Segundo agregado de material y su compactación (izquierda), muestra sin molde (derecha)*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.2.3. Calor de Hidratación y tiempo de fraguado

El fraguado es el proceso de solidificación y pérdida de plasticidad inicial que tiene lugar en todo hormigón, mortero, cemento, etc., por efecto de la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos con los óxidos metálicos presentes en el Clinker.

Diferentes factores afectan el tiempo de fraguado de los morteros, entre uno de los más importantes está la temperatura, el aumento de la temperatura producirá una

reducción del tiempo de fraguado, mientras que la disminución de la temperatura provocará que se detenga la hidratación si esta ronda los 0°C.

Por lo tanto, a la hora de hablar del desarrollo de las resistencias de los morteros deberemos considerar que, si ocurre un incremento de la temperatura por el calor de hidratación, es decir el calor liberado durante el proceso de hidratación del mortero, la mezcla madurará más rápidamente que cuando el calor es constante. Esto se debe a una aceleración de la reacción de hidratación, que es térmicamente activada.

Es necesario conocer el desarrollo de la temperatura en las muestras de los morteros a estudiar ya que se pueden producir efectos adversos como:

- Pérdida permanente de la resistencia en caso de que la temperatura del mortero sea demasiado elevada al inicio de la hidratación o por heladas que ocurrieran antes de que el mortero alcanzara suficiente resistencia.
- Fisuración en caso de grandes variaciones de temperatura.

Para poder prevenir cualquiera de estos daños es necesario conocer de antemano los efectos del calor de hidratación y la temperatura en el fraguado de la mezcla. Para ello se utilizó el ensayo de calorimetría.

#### I. Calorímetro

Se utilizó el calorímetro portátil CALMETRIX F-CAL 8000 de ocho canales de muestras que simula las condiciones de curado del concreto, cumpliendo con la norma ASTM C1753 sobre la “Evaluación de la hidratación tempranas de mezclas hidráulicas de cemento con el uso de mediciones térmicas”.

El calorímetro F-CAL 8000 permite ensayar hasta ocho muestras simultáneamente en cilindros estándares de 75 mm x 150 mm o cualquier contenedor de igual o menor tamaño. El calorímetro se controla mediante el software CalCommande desarrollado también por CALIMETRIX.

Ilustración 23: Calorímetro F-CAL 8000 (izquierda), canales de medición (derecha)



Fuente: Elaboración propia.

## II. Metodología del Ensayo de Calorimetría

1. Se realizó la mezcla a ensayar.
2. Se colocó la mezcla en los moldes cilíndricos propios del calorímetro y se introdujeron en la máquina en los canales correspondientes.
3. Se inició el software CalCommander y se programó el inicio del sistema para una medición de 48 hs.
4. Luego de las 48 hs., automáticamente se detuvo el sistema lo que permitió más tarde extraer la información con los datos de temperatura obtenidos para luego ser analizados.

Ilustración 24: Medición de las muestras patrón y con 10% de ceniza en canales 1 y 2 (izquierda), medición de las muestras con contenido del 15% y 5% de ceniza en canales 1 y 2 (derecha)



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Mezcla utilizada en los ensayos

Para determinar la mezcla óptima se realizó un estudio cualitativo preliminar para verificar la factibilidad de utilizar una mezcla de una relación agua/cemento 0,5 o 0,6. Se buscó comprobar que fuera relevante realizar los ensayos de compresión a 3 y 7 días y, por último, se determinó que los efectos causados por el calor de hidratación no produjera a simple vista ningún efecto adverso severo.

Gracias a estos estudios se pudo determinar que la mezcla a utilizar seguiría las proporciones dadas por la norma IRAM 1.622 con una relación de agua/cemento igual a 0,6.

Tabla 12: Composición de la mezcla de mortero para cada muestra a realizar (en gramos)

	Unidades: gramos				
	Referencia	5%	7,50%	10%	15%
<b>Cemento</b>	450	427,5	416,3	405	382,5
<b>Ceniza de Tabaco</b>	0	22,5	33,8	45	67,5
<b>Arena Fina</b>	472	472	472	472	472
<b>Arena Gruesa</b>	878	878	878	878	878
<b>Agua</b>	270	270	270	270	270

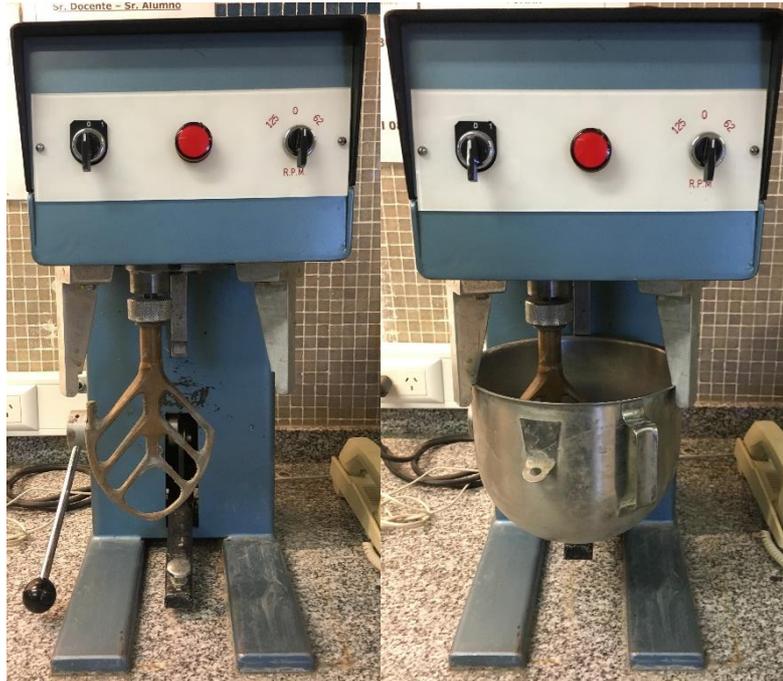
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.1. Procedimiento de elaboración de las muestras de morteros

##### I. Mezcladora

La mezcladora utilizada corresponde a la marca COSACOV. Esta máquina cumple con los requisitos de las normas internacionales y en particular con la norma IRAM 1.622. Esta mezcladora motorizada posee un recipiente de acero inoxidable donde una paleta adecuada ejerce una acción de mezclado global que permite que todos los componentes de la mezcla queden perfectamente integrados. Esta máquina posee dos velocidades optativas de mezclado 62 rpm y 125 rpm.

Ilustración 25: Mezcladora COSACOV



Fuente: Elaboración propia.

## II. Metodología de elaboración de las mezclas

1. Se introdujo en el recipiente metálico de la mezcladora el agua junto con la arena fina y gruesa que fueron previamente homogeneizadas.
2. Se encendió la mezcladora a una velocidad de 62 rpm por 30 segundos para homogeneizar la mezcla de arena y agua.
3. Se introdujo en los siguientes 30 segundos el cemento o cemento y ceniza (previamente homogeneizado).
4. Una vez llegados al minuto de mezcla se detuvo la máquina por 15 segundos durante los cuales con ayuda de una espátula se mezcló manualmente el contenido del recipiente.
5. Se encendió por 1 minuto la mezcladora a una velocidad de 125 rpm. Una vez pasado ese tiempo se detiene la máquina y se utiliza inmediatamente la mezcla. Tiempo total de mezclado: 2 minutos 15 segundos.

Ilustración 26: Mezcla inicial a 62 rpm (izquierda), agregado de cemento y cenizas (centro), mezclado final a 125 rpm (derecha)



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Plan Experimental

Para este proyecto se desarrollaron las siguientes tareas:

Ilustración 27: Tareas desarrolladas en en el proyecto

Id	Nombre de tarea	Duración
<b>1</b>	<b>Proyecto Trabajo Final - Ing. Industrial</b>	<b>109 días</b>
<b>2</b>	<b>Tabacalera Sarandí</b>	<b>4,04 días</b>
3	Visita a la Planta	0,3 días
4	Obtención de Materia Prima	0 días
5	Obtención de Información	1 día
<b>6</b>	<b>Laboratorio de Química</b>	<b>13,67 días</b>
7	Análisis del polvo de tabaco	0 días
8	Producción de ceniza	5 días
9	Análisis de las cenizas producidas	0 días
<b>10</b>	<b>Laboratorio de Materiales</b>	<b>108,67 días</b>
11	Producción de ceniza	22 días
<b>12</b>	<b>Ensayos mecánicos</b>	<b>56 días</b>
<b>13</b>	<b>Ensayos Cualitativos</b>	<b>7 días</b>
14	Probetas a 3 días	3 días
15	Probetas a 7 días	7 días
<b>16</b>	<b>Moldes de Referencia</b>	<b>28 días</b>
17	Molde a 3 días	3 días
18	Molde a 7 días	7 días
19	Molde a 28 días	28 días
<b>20</b>	<b>Molde Probetas CNP + 5% Ceniza</b>	<b>28 días</b>
21	Molde de CPN + 5% Ceniza a 3 días	3 días
22	Molde de CPN + 5% Ceniza a 7 días	7 días
23	Molde de CPN + 5% Ceniza a 28 días	28 días
<b>24</b>	<b>Molde Probetas CNP + 7,5% de Ceniza</b>	<b>35 días</b>
25	Molde de CPN + 7,5% Ceniza a 3 días	3 días
26	Molde de CPN + 7,5% Ceniza a 7 días	7 días
27	Molde de CPN + 7,5% Ceniza a 28 días	28 días
<b>28</b>	<b>Molde Probetas CNP + 10% de Ceniza</b>	<b>28 días</b>
29	Molde de CPN + 10% Ceniza a 3 días	3 días
30	Molde de CPN + 10% Ceniza a 7 días	7 días
31	Molde de CPN + 10% Ceniza a 28 días	28 días
<b>32</b>	<b>Molde Probetas CNP + 15% de Ceniza</b>	<b>28 días</b>
33	Molde de CPN + 15% Ceniza a 3 días	3 días
34	Molde de CPN + 15% Ceniza a 7 días	7 días
35	Molde de CPN + 15% Ceniza a 28 días	28 días
<b>36</b>	<b>Ensayo de Extendido / Flow</b>	<b>80,67 días</b>
37	CNP Referencia	0 días
38	CNP + 5% Ceniza	0 días
39	CNP + 7,5% Ceniza	0 días
40	CNP + 10% Ceniza	0 días
41	CNP + 15% Ceniza	0 días
<b>42</b>	<b>Calorímetro</b>	<b>83,67 días</b>
43	CNP Referencia	3 días
44	CNP + 5% Ceniza	3 días
45	CNP + 7,5% Ceniza	3 días
46	CNP + 10% Ceniza	3 días
47	CNP + 15% Ceniza	3 días

Fuente: Elaboración propia.



# Capítulo 5

## Resultados

### 5.1. Ensayo de Compresión

Se elaboraron 3 probetas por tipo de mezcla y tiempo de fraguado (se evaluaron 5 tipos de muestra y 3 tiempos de fraguado dando total de 45 probetas) lo cual posibilito obtener 6 resultados de carga a la compresión por tipo de mezcla y tiempo de fraguado dado que cada probeta permite obtener 2 valores. Acorde a estos resultados se calculó el promedio y desvió estándar para cada una de las mezclas. Los resultados correspondientes a los ensayos de compresión fueron los siguientes:

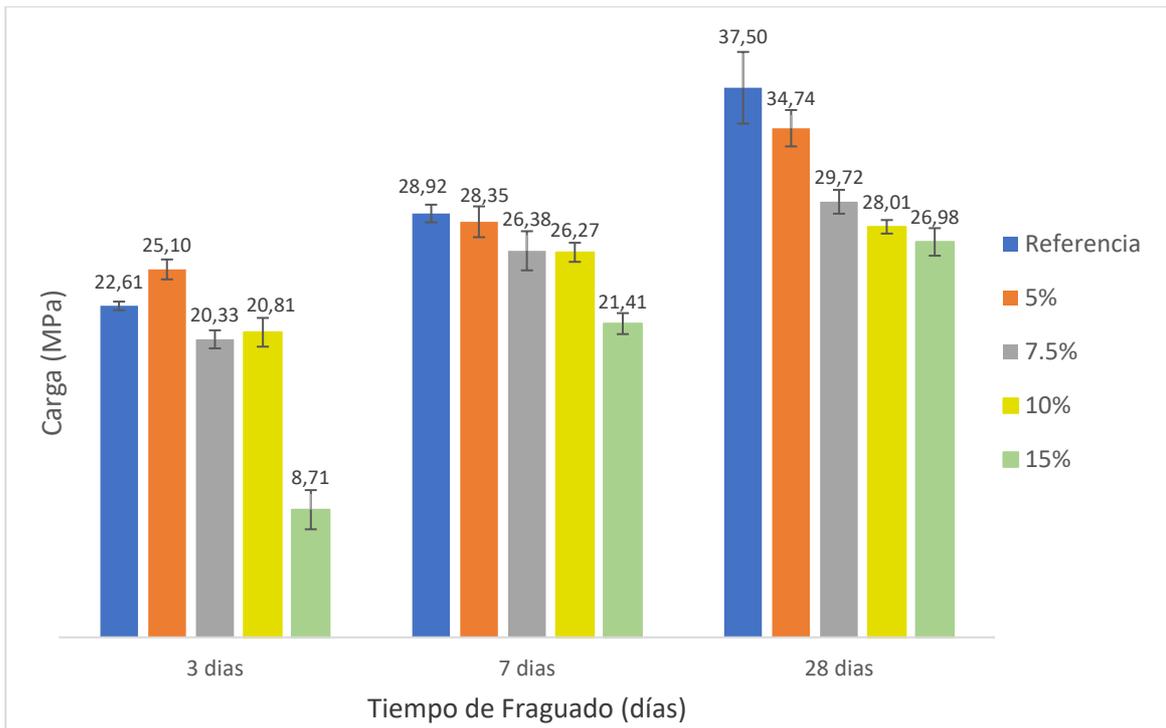
*Tabla 13: Resultados ensayo de Compresion*

Días		Referencia	Adición de ceniza			
			5%	7.5%	10%	15%
3 días	Carga Promedio (MPa)	22,61	25,10	20,33	20,81	8,71
	Desviación Estándar (MPa)	0,29	0,68	0,62	0,98	1,34
7 días	Carga Promedio (MPa)	28,92	28,35	26,38	26,27	21,41
	Desviación Estándar (MPa)	0,60	1,05	1,34	0,65	0,72
28 días	Carga Promedio (MPa)	37,50	34,74	29,72	28,01	26,98
	Desviación Estándar (MPa)	2,45	1,24	0,81	0,46	0,94

*Fuente: elaboracion propia*

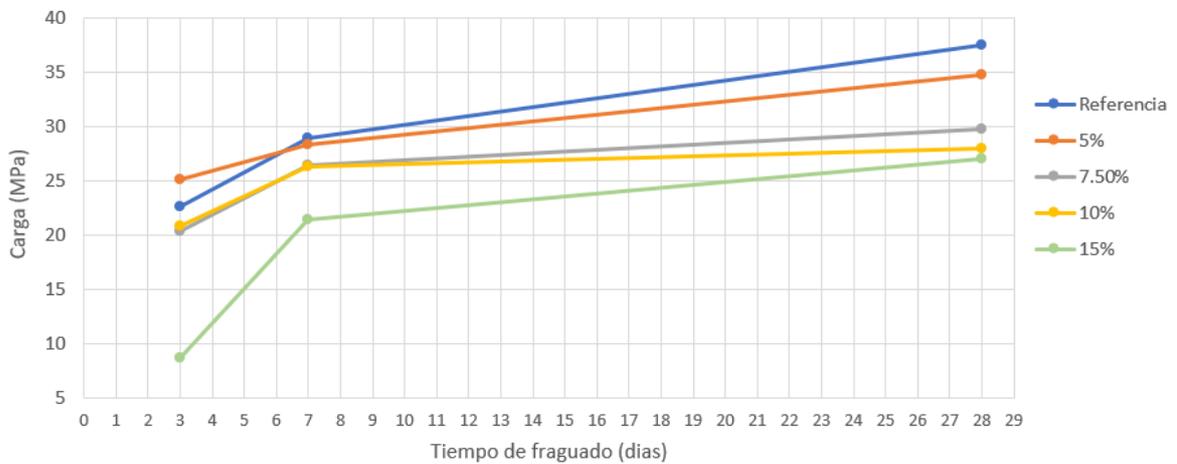
De acuerdo con los resultados previos se generaron los siguientes gráficos:

Ilustración 28: Carga (MPa) vs Tiempo de Fraguado (días)



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29: Comportamiento de Carga (MPa) vs Tiempo de Fraguado (días) para cada mezcla



Fuente: Elaboración propia.

Concorde a estos resultados se pudo observar lo siguiente:

- Para cada tipo de muestra se observó un claro aumento de la carga a medida que aumentan los días de fraguado.
- A los 3 días de fraguado la muestra con mayor carga a la compresión fue la de 5% de adición de ceniza de polvo de tabaco, superando en un 11% al valor obtenido por la referencia. Las muestras con 7,5% y 10% de adición de ceniza mostraron

valores menores a la referencia en un 10% y 8% respectivamente. Las muestras con 15% de adición de ceniza mostraron resultados 61,5% menores a la referencia. Para estas últimas muestras se dificultó la medición ya que las mismas se deshacían al realizar el ensayo.

- A los 7 días de fraguado la referencia pasa a ser la que obtuvo mayor carga a compresión, soportando apenas un 2% por arriba de las muestras con un 5% de adición de ceniza. Mientras que las muestras con 7,5%, 10% y 15% fueron 9%, 9,2% y 26% menores a la referencia respectivamente. Hasta un 10% de adición de ceniza la reducción en la carga a la compresión es aceptable, mientras que al 15% de adición de ceniza la compresión disminuye en mayor proporción.
- A los 28 días la referencia vuelve a ser la que soporta mayor carga a la compresión, aunque la dispersión resultó ser alta también. La misma supero en un 7,4% a las muestras con 5% de adición de ceniza y un 20,8%, 25,3% y 28,1% a las muestras con 7,5%, 10% y 15% de adición de ceniza respectivamente.
- En cuanto a carga a la compresión las muestras con 5% de adición de ceniza de polvo de tabaco demostraron ser similares a los valores obtenidos de la referencia, lo cual la convierten en una gran candidata.

## 5.2. Ensayo de Extendido

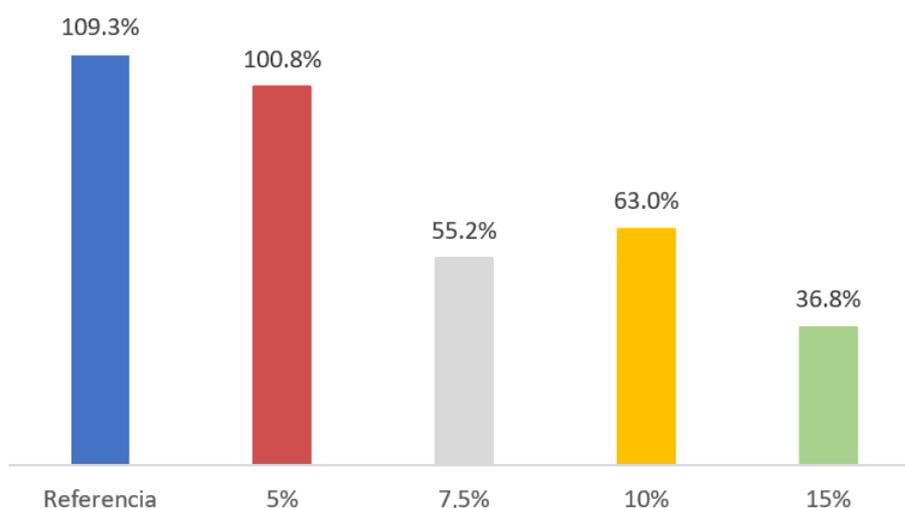
Se obtuvieron 16 valores de diámetro por cada una de las mezclas y un total de 4 diámetros promedio, a partir de ello se obtuvo, según la ecuación 5, los porcentajes de fluidez para cada una de las mezclas. Los resultados obtenidos para el ensayo de extendido fueron los siguientes:

*Tabla 14: Resultados Ensayo de Extendido*

	Adición de ceniza				
	Referencia	5%	7,5%	10%	15%
Porcentaje de Fluidez (%)	109,3	100,8	55,2	63,0	36,8

*Fuente: Elaboración propia.*

Ilustración 27: Resultados Ensayo de Extendido



Fuente: Elaboración propia

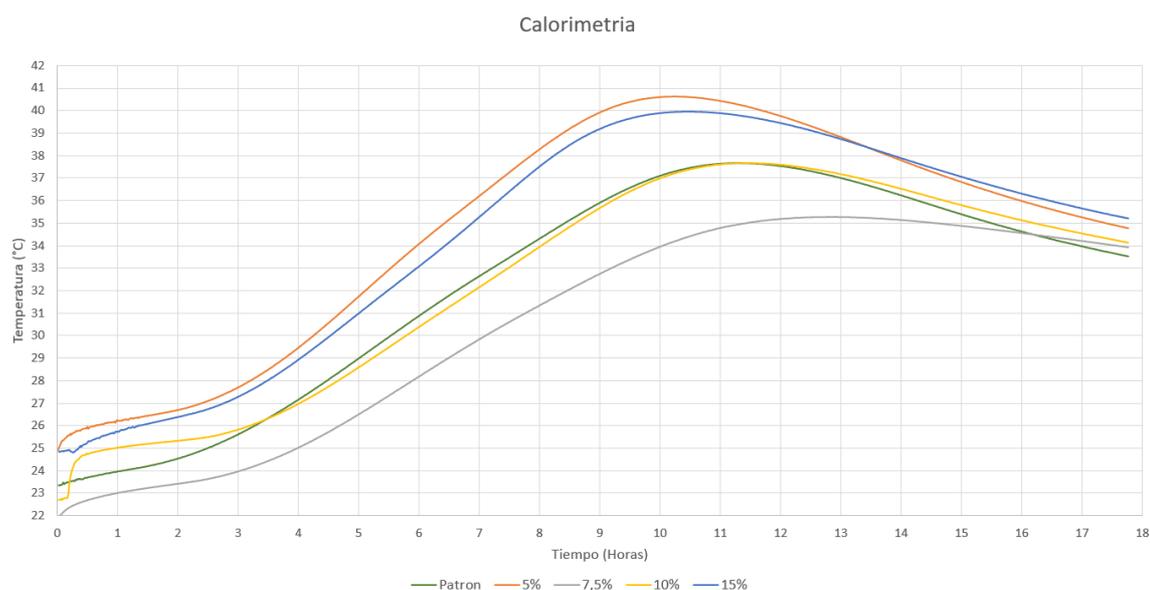
Se pudo observar que a un 5% de adición de ceniza el porcentaje de fluidez disminuye solamente un 8,6%, mientras que a partir de un 7,5% de adición de ceniza la consistencia de las muestras aumenta considerablemente, obteniéndose valores 54,1%, 46,3% y 72,5% menores que la referencia para las muestras con 7,5%, 10% y 15% de adición de ceniza respectivamente.

Para un 15% de adición de ceniza se pudo observar el porcentaje de fluidez disminuye drásticamente, lo que indica que la mezcla solicita un porcentaje mayor de agua debido a la mayor cantidad de ceniza.

### 5.3. Calorimetría

Se realizaron 5 probetas (Referencia, 5%, 7,5%, 10% y 15% con adición de ceniza de polvo de tabaco) las cuales se introdujeron en el calorímetro durante un mínimo de 18 horas. Los resultados obtenidos para cada una de las mezclas fueron los siguientes:

Ilustración 30: Temperatura de frague en horas



Los picos de hidratación máximos para cada mezcla se dieron en los siguientes puntos:

Tabla 15: Picos principal de hidratación para cada muestra

Muestra	Pico principal de hidratación	
	Tiempo (horas)	Temperatura (°C)
Referencia	11:10	37,7
5.0%	10:15	40,6
7.50%	12:45	35,3
10%	11:25	37,6
15%	10:30	40,0

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un comportamiento muy similar entre la referencia y la muestra con un 10% de adición de ceniza, con la sola diferencia que la muestra con 10% adelanta con respecto a la referencia durante las primeras 3 horas. Lo mismo ocurre entre las muestras con 5% y 15% de adición de ceniza, las cuales se adelantan poco más de una hora y alcanzan un pico 3,5 °C y 3 °C más alto respectivamente. El adelanto de la muestra con un 5% de adición de ceniza concuerda con el mayor valor obtenido de compresión a los 3 días comparado con la referencia. La muestra con 7,5% de adición de ceniza presenta un retraso con respecto de la referencia de 1 hora y 30 minutos y una temperatura comparable.



## Capítulo 6

# Beneficios del Desarrollo Sostenible

El cemento es uno de los materiales que más ha contribuido al bienestar de la humanidad siendo sinónimo de desarrollo económico y social, todo tipo de edificaciones no serían posibles sin el cemento y sin su principal derivado, el hormigón.

Para la industria cementera argentina, la conservación del ambiente constituye una prioridad en cada una de las etapas del proceso de fabricación. Consciente de la importancia de construir una sociedad orientada hacia el Desarrollo Sostenible, la convierte en parte fundamental de su política.

El cemento en sí mismo constituye un aporte clave para la calidad de vida del hombre moderno a través de las múltiples aplicaciones del hormigón en la construcción de viviendas, carreteras, edificios, diques, aeropuertos, convirtiéndose este último en el material más utilizado en el mundo, después del agua.

Las empresas productoras de cemento en la Argentina están comprometidas con la fabricación de productos de la más alta calidad, efectuando sustituciones para las materias primas y los combustibles no renovables, haciendo uso racional de la energía y reduciendo los impactos al entorno, mediante constantes mejoras en los procesos industriales que minimizan el posible impacto ambiental.

### 6.1. Contaminantes en la Industria Cementera:

Las plantas de cemento producen contaminantes aéreos, principalmente polvo proveniente de los procesos de molienda, y de la combustión en el horno. Este polvo contiene especialmente sílice libre lo que constituye un riesgo importante para la salud de los empleados de la planta y de las poblaciones cercanas.

La industria cementera tiene a nivel mundial uno de los mayores avances en cuánto a la reducción de los contaminantes aéreos. Además, es necesario recordar que el proceso de fabricación de cemento no genera efluentes líquidos y la mayor parte de los residuos sólidos son reincorporados al proceso.

## 6.2. Desarrollo Sostenible de la Industria Cementera

La Organización de las Naciones Unidas definió el concepto Desarrollo Sostenible como la búsqueda de la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, considerando los aspectos políticos, culturales, sociales y económicos.

La Constitución Nacional en su artículo número 41 establece: “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo.”

### 6.2.1. Economía Circular Regenerativa

La Economía Circular es un sistema que las empresas comienzan a utilizar para repensar sus ciclos productivos.

El antiguo modelo lineal de extracción – transformación – uso – eliminación, basada en el “tomar, hacer, desechar”, ha dominado la producción y consumo de la economía global, ha sido el elemento fundamental del desarrollo de este modelo por uno que nos permita optimizar el consumo de los recursos, reducir la generación de los residuos y subproductos desechables y aportar nuevas fuentes de producción y ahorro de energía como lo es el modelo de Energía Circular.

La Economía Circular propone un cambio sistémico radical que apunta al ecodiseño, la economía de la funcionalidad, iniciando en el producir – consumir – reusar/ reparar/ reciclar y revalorizar.

Además de los beneficios ambientales, asumir este sistema productivo a nivel sectorial implica crear riqueza y empleo a la vez que genera una ventaja competitiva.

El hormigón, y el cemento como su insumo esencial, son reconocidos como materiales claves de la construcción en el camino del Desarrollo Mundial, posibilitando la concreción de obras de infraestructura, viviendas, instalaciones sanitarias, educativas, y energéticas, entre otras, generando con este aporte actividades económicas que ofrecen mayores fuentes de empleo.

Las empresas cementeras en Argentina plantean mejoras en toda la cadena de valor del producto, promoviendo el uso eficiente de los recursos y medidas que tiendan a reducir el impacto ambiental:

- Sustitución parcial de clínker con adiciones minerales: permite disminuir el requerimiento energético y de material para la producción de cemento, ofreciendo mejoras en el desempeño resistente y durable, y una menor huella de carbono.
- El co-procesamiento de residuos y subproductos: contribuye a la reducción del consumo de recursos no renovables en la producción de clínker. Esta técnica consiste en utilizar residuos y subproductos industriales, aprovechándolos como fuente de materia prima y energía alternativa.
- La eficiencia del consumo energético.
- Colaborar con la cadena de valor para la transferencia tecnológica y el uso adecuado de los distintos tipos de cemento.

Basándonos en los objetivos de las empresas cementeras argentinas, en este trabajo se buscó hacer un aporte en relación a los tres primeros puntos antes mencionados.

A partir del co-procesamiento del residuo generado por la industria tabacalera, se buscó reducir el consumo de Clinker en la producción de cemento. El residuo utilizado fue polvo de tabaco, que al ser organico se lo redujo a ceniza, es decir un mineral. La utilización de la ceniza como aditivo mineral genera mayor eficiencia energética en el proceso productivo del cemento.

### 6.2.2. Gestión Ambiental

El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es un conjunto de procesos y prácticas que permiten a una organización reducir sus impactos ambientales y aumentar su eficiencia operativa. Abarca áreas tales como capacitación, gestión de registros, inspecciones, objetivos y políticas.

La implementación de un SGA constituye la estrategia para que el empresario, en un proceso continuo, identifique oportunidades de mejoras que reduzcan los impactos de las actividades de la empresa sobre el medio ambiente, mejorando al mismo tiempo su situación en el mercado y sus posibilidades de éxito.

En Argentina, la mayor parte de las empresas cuentan con un SGA, que define las responsabilidades y establecen los objetivos y principios a seguir internamente. En general, los mismos incluyen los siguientes compromisos:

- Cumplimiento de requisitos legales y lineamientos voluntarios.
- Minimización de impactos ambientales directos e indirectos en el entorno.
- Promoción de la conservación de los recursos.
- Mejora continua de prácticas y procesos que determinan el desempeño ambiental y laboral.
- Desarrollo de la actividad en armonía con los intereses de la comunidad.
- Concientización a los grupos de interés sobre el cuidado del ambiente.

Se espera que las personas incorporen hábitos más amigables con relación al cuidado del ambiente, a través de prácticas concretas que puedan llevar a cabo no sólo en el ámbito laboral, sino también en todos los aspectos de su vida personal.

### 6.2.3. Huella de Carbono

La huella de carbono surge como una medida de cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático, más allá de los grandes emisores.

La huella de carbono se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO<sub>2</sub> equivalentes, y sirve como una herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos.

El desafío actual de la industria es continuar con la tarea que se viene realizando desde hace años buscando reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) mediante soluciones que implican materias y combustibles alternativos.

Con los residuos que no son reciclables, se pueden generar combustibles alternativos, que contribuyen a disminuir la emisión de GEIs. Estos combustibles reemplazan a los combustibles fósiles tradicionales, lo que evita la emisión directa de CO<sub>2</sub>, poseyendo una menor huella de carbono. Muchos de estos residuos provienen de la

biomasa o la contienen, como los combustibles obtenidos de los residuos municipales o de industrias diversas. La biomasa de estos residuos emite CO<sub>2</sub> neutro con respecto al clima, por lo que el sector industrial dedicado al cemento lo utiliza en gran medida como reemplazante de sus fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles, es así que este sector es uno de los mayores recicladores de la economía.

Específicamente en el proceso de fabricación de cemento se transforman grandes cantidades de minerales para producir el clínker. El 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen del proceso de descarbonatación de la caliza durante la producción de clínker, mientras que el 40% restante de la combustión en el horno.

Aprovechando los residuos generados por otros sectores industriales se logra:

- Reemplazar las materias primas vírgenes lo cual evita la extracción de recursos naturales de las canteras y las emisiones asociadas con ellas.
- Evitar la descarbonatación de algunos materiales dado que algunos de ellos al ser utilizados contienen óxido de calcio.
- Reducir el contenido de clínker por tonelada de cemento (factor clínker) al utilizar adiciones.

Con relación a este último punto y la temática planteada en este trabajo, se puede decir que lo que se buscó fue demostrar que es posible utilizar el residuo industrial del sector tabacalero como reemplazo de una proporción de clínker, es decir, disminuir el factor clínker.

A fin de analizar esta temática, se formularon indicadores de emisión de CO<sub>2</sub> en relación a la producción de cemento y el factor clínker. Luego se realizó una proyección en función de los datos obtenidos a partir de los ensayos elaborados para evaluar los resultados de dichos indicadores.

#### I. Emisión de CO<sub>2</sub>

Se estableció un primer indicador para medir los kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos en función de las toneladas de cemento producidas a nivel nacional por año.

*Ecuación 5: Factor de Emisión CO<sub>2</sub> en función del cemento producido*

$$\frac{\text{Emisiones de CO}_2}{\text{Cemento}} = \frac{\text{kg de CO}_2 \text{ equivalente}}{\text{toneladas de cemento producidas}}$$

*Fuente: Elaboración propia.*

El segundo indicador definido mide los kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos en función de las toneladas de clínker producidas a nivel nacional por año.

*Ecuación 6: Factor de Emisión CO<sub>2</sub> en función del cemento producido*

$$\frac{\text{Emisiones de CO}_2}{\text{Clínker}} = \frac{\text{kg de CO}_2 \text{ equivalente}}{\text{toneladas de clínker producidas}}$$

*Fuente: Elaboración propia.*

El tercer indicador se denomina factor de clínker y relaciona las toneladas de clínker producido con las toneladas de cemento producido a nivel nacional por año. Como se dijo anteriormente, la producción de clínker aporta el 60% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> producidos en la industria cementera. Por lo tanto, se puede concluir que una modificación en este indicador es una de las maneras más rápidas de disminuir las emisiones de GEIs.

*Ecuación 7: Factor de clínker*

$$\frac{\text{Clínker}}{\text{Cemento}} \times 100 = \frac{\text{toneladas de clínker producidas}}{\text{toneladas de cemento producidas}}$$

*Fuente: Elaboración propia.*

Según los datos del segundo Reporte Bienal de Actualización 2017 de la República Argentina, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, como requisito obligatorio de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, se determinó que para el año 2.014 el total de emisiones de GEIs en unidades de CO<sub>2</sub> equivalentes fue de 323 MtCO<sub>2</sub> eq.

A partir del conocimiento del total de emisiones de GEIs a nivel nacional, se estimó el total de emisiones del sector industrial cementero en un 2%, según fuente de la Asociación de Fabricantes de Cemento Portland.

La organización Climate Transparency es una asociación global que tiene la misión de estimular una “carrera hacia la cima” en la acción climática del G20 para cambiar las inversiones hacia tecnologías de cero carbono a través de una mayor transparencia. Junto con expertos desarrollan el informe “*Brown to Green*” que cubre la información de todas

las áreas principales como la mitigación y financiación climática e incluye hojas de eventos detalladas de todos los países del G20.

En último Informe Brown to Green 2018, la organización Climate Transparency concluyó que se espera una tendencia en aumento de la emisión total de CO<sub>2</sub> hacia el año 2030. A partir de esta tendencia, se tomaron dos valores aproximados para determinar los posibles valores de emisiones totales de GEIs para los años 2018 y 2020, estos son 350 MtCO<sub>2</sub> eq. y 370 MtCO<sub>2</sub> eq. respectivamente.

*Tabla 16: Indicadores de emisión de GEIs y Factor Clínter*

	<b>2014 - Nivel Nacional</b>	<b>2018 – Emisión del Sector</b>
Tonelada de CO <sub>2</sub> / año	6.449.412	7.000.000
Kg de CO <sub>2</sub> / año	6.449.412.000	7.000.000.000
Tonelada de cemento	11.408.392	11.841.500
Tonelada de Clínter	8.490.003	8.595.950
Kg de CO <sub>2</sub> /t de cemento	565	591
Kg de CO <sub>2</sub> /t de clínter	760	814
Factor Clínter	74,4%	72,6%

*Fuente: Elaboración propia en base de datos de AFCP y Climate Transparency.*

Los informes económicos de los últimos meses muestran un decrecimiento de la actividad, presentando una caída del 11,4% interanual en el consumo de cemento con una caída acumulada en el primer semestre del corriente año del 7,6%. En conjunto, se observó que la producción de cemento en el primer semestre mostró un decrecimiento del 8,7% mientras que la producción de clínter solo decreció un 5%. A partir de estos datos y de la tendencia en baja de indicadores macroeconómicos, se determinó una caída para 2020 del 10% en la producción de cemento de clínter.

A su vez, las empresas productoras de cemento llevan adelante, como ya se mencionó, Sistemas de Gestión Ambiental y un Política Ambiental comprometidas con la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Gracias a este compromiso, se estimó en base a los datos aportados por las empresas productoras de cemento una reducción del 14% de las emisiones de GEIs en la industria cementera.

A partir de esta información se estimó la reducción de los indicadores para el año 2020:

Tabla 17: Indicadores de emisión de GEIs y Factor Clínter estimados para 2020

	2020 - Nivel Nacional	2020 – Emisión del Sector
Tonelada de CO <sub>2</sub> / año	370.000.000	6.364.000
Kg de CO <sub>2</sub> / año	370.000.000.000	6.364.000.000
Tonelada de cemento	10.657.350	10.657.350
Tonelada de clínter	7.736.355	7.736.355
Kg de CO <sub>2</sub> /t de cemento	-	597
Kg de CO <sub>2</sub> /t de clínter	-	823
Factor clínter	-	72,6%

Fuente: Elaboración propia.

Si bien la actividad de la industria cementera se encuentra en decrecimiento, las acciones de las empresas del sector no son suficientes para mitigar la tendencia creciente de emisión de CO<sub>2</sub> en Argentina, por lo que es necesario sumar más políticas y acciones que contribuyan a la disminución de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por año.

#### 6.2.4. Co – procesamiento del polvo de tabaco

En nuestro país el consumo de cigarrillos disminuye muy lentamente a través del tiempo, entre los años 2013 y 2018 la tasa de fumadores en Argentina disminuyó de un 25,1% a 22,2%. Sin embargo, la actividad no decreció tan drásticamente como sí sucedió en otros sectores. En los últimos 5 años el consumo de paquetes de cigarrillos decreció un 1,82% y hubo una caída solo del 6% de la producción de hojas de tabaco en el corriente año, a partir de estos datos, se estimó una caída del 1% para el año 2020 en el consumo de paquetes de cigarrillos.

En la siguiente tabla, se muestran los datos de la producción de cigarrillos desde 2013 a 2018 según el Ministerio de Producción y Trabajo, y la estimación de la producción a 2020. A su vez, se calculó los kilogramos de tabaco necesarios para producir cigarrillos a partir del dato de que cada paquete de cigarrillo de 20 unidades contiene en promedio 20 gramos de tabaco. El desperdicio de polvo de tabaco representa un 3% del total de tabaco utilizado en la producción. Con esta información y teniendo en cuenta que en la elaboración de cenizas desde polvo de tabaco se pierde el 61% de peso en masa se calculó el total de cenizas producidas en toneladas.

Tabla 18: Producción de cigarrillos y el estimado de cenizas desde 2013 a 2018 y la proyección para 2020.

Año	Paquetes Vendidos (unidades)	Tabaco (gramos)	Tabaco (kg)	Polvo de Tabaco (kg)	Cenizas Producidas (kg)	Cenizas Producidas (Tn)
2013	2.088.808.152	41.776.163.040	41.776.163	1.253.285	488.781	488,78
2014	1.873.718.007	37.474.360.140	37.474.360	1.124.231	438.450	438,45
2015	2.226.703.586	44.534.071.720	44.534.072	1.336.022	521.049	521,05
2016	1.794.084.061	35.881.681.220	35.881.681	1.076.450	419.816	419,82
2017	1.797.332.980	35.946.659.600	35.946.660	1.078.400	420.576	420,58
2018	1.707.466.331	34.149.326.620	34.149.327	1.024.480	399.547	399,55
2020	1.673.317.004	33.466.340.088	33.466.340	1.003.990	391.556	391,56

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del Ministerio de Producción y Trabajo.

En base de las estimaciones realizadas tanto para la producción de cemento como la de cenizas de polvo de tabaco para el año 2020, se buscó evaluar la capacidad de reemplazo de este producto en la industria cementera.

Tomando los datos de las tablas 16 y 17, se calculó:

Toneladas de cementos a producir: 10.657.350

Toneladas de cenizas: 391,56

Capacidad de Reemplazo: 0,004%

Como se puede observar de los cálculos, el volumen de cenizas producidos en Argentina no es suficiente para satisfacer la producción continua de la industria cementera, por lo cual este producto a pesar de sus muchos beneficios solo puede ser utilizado para producciones puntuales de cemento.



## Capítulo 7

### Conclusiones

Se concluye que a un 5% de adición de ceniza de polvo de tabaco en una mezcla con relación agua/cemento de 0,6 los valores de compresión, calorimetría y trabajabilidad fueron comparables a los de la referencia, convirtiéndola en una opción técnicamente viable.

La mezcla con un 5% de adición de ceniza de polvo de tabaco presenta mayor resistencia a la compresión a los 3 días de fraguado, esto la convierte en una candidata para concretos los cuales solicitan altos valores de resistencia a la compresión a los pocos días.

Adicionalmente se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- Para poder ser considerado un cemento portland puzolánico (acorde a la tabla 1) el mismo debe contener entre un 15% y 50% de ceniza. Ya que para valores mayores a 5% de adición de ceniza de polvo de tabaco se observaron resultados deficientes comparados con la referencia y una demanda de agua muy alta, la mezcla con un 5% de ceniza de polvo de tabaco logra insertarse dentro de cualquier categoría considerándose un componente minoritario (0% a 5%).
- Como se estudió en este trabajo las toneladas de cenizas de polvo de tabaco que pueden llegar a producirse en Argentina no satisfacen la producción de la industria cementera de manera continua, por lo que este material solo podría ser utilizado para producciones puntuales que requieran de las características aportadas por este producto. A su vez, al ser tan baja su participación en la industria cementera, el reemplazo de este producto no se refleja en un ahorro significativo de emisiones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, por lo que no afecta a los indicadores calculados en este trabajo.
- Este trabajo ofrece una posible solución para la industria tabacalera para poder reconvertir sus residuos en un subproducto beneficioso para otra industria. Esto le permite obtener beneficios económicos por la venta del residuo y paralelamente una disminución de gastos de fletes almacenamiento y disposición final.

A partir de las conclusiones de este trabajo se podrían estudiar otras alternativas en referencia a la temática:

- Búsqueda de un método más efectivo de producción ceniza a partir del polvo de tabaco utilizando su poder calorífico y su estandarización. Estudio del calor liberado por el polvo de tabaco durante la combustión y posibles aplicaciones donde este calor pueda ser aprovechado.
- Estudiar la legalidad de reinserción del residuo de la industria tabacalera en otro tipo de industria.

## Bibliografía

- Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (2017, Abril). Informe de Sostenibilidad – Período 2012 – 2014. [Archivo PDF]. Disponible en: [https://docs.wixstatic.com/ugd/46ae8e\\_ab23eb06f94d40528274029297768a98.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/46ae8e_ab23eb06f94d40528274029297768a98.pdf)
- Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (2019, Enero). La economía circular regenerativa y la industria del cemento. [Archivo PDF]. Disponible en: [http://afcp.info/SOSTENIBILIDAD/DOCUMENTO\\_economia-circular.pdf](http://afcp.info/SOSTENIBILIDAD/DOCUMENTO_economia-circular.pdf).
- Asociación de Fabricantes de Cemento Portland. (2015, Noviembre). Co – Procesamiento en la Industria del Cemento. [Archivo PDF]. Disponible en: [https://docs.wixstatic.com/ugd/46ae8e\\_ff569bab24a242c29c726db154ec47f3.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/46ae8e_ff569bab24a242c29c726db154ec47f3.pdf).
- CALLEJA José. (1977). Cementos puzolánicos. *Materiales de Construcción* (165).
- CALLEJA José. (1982). Cenizas, cementos y hormigones con cenizas. *Materiales de Construcción* (182).
- CEMBUREAU: The European Cement Association. (2016, Septiembre). Cement, concrete & the circular economy. [Archivo PDF]. Disponible en: [https://cembureau.eu/media/1229/9062\\_cembureau\\_cementconcretecirculareconomy\\_coprocessing\\_2016-09-01-04.pdf](https://cembureau.eu/media/1229/9062_cembureau_cementconcretecirculareconomy_coprocessing_2016-09-01-04.pdf).
- Compactadora para ensayos de resistencia de cementos. En: Ibertest Advanced Testing Solutions [en línea]. S.A.E. IBERTEST, 2019. Disponible en: <https://www.ibertest.es/products/compactadora-para-ensayos-de-resistencia-de-cementos/>
- El tabaquismo en números en Argentina. (25 de Mayo de 2019). *Revista Norte* [en línea]. Disponible en: <http://revistanorte.com.ar/el-tabaquismo-en-numeros-en-argentina/>.
- F-Cal Semi-Adiabatic Calorimeter. En: *CALMETRIX* [en línea]. CALMETRIX, Inc., 2010 – 2016. Disponible en: <https://www.calmetrix.com/f-cal-800>.
- GOMEZ-ZAMORANO, L. Y.; GARCIA-GUILLEN, G. y ACEVEDO-DAVILA, J. L. Estudio de la hidratación de pastas de cemento portland reemplazadas con escoria granulada de alto horno, ceniza volante y metacaolín: efecto del empleo de dos aditivos superplastificantes. En: *Revista ALCONPAT* [en línea] 2015, vol.5, n.3 pp.203-218. ISSN 2007-6835. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-68352015000300203&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300203&lng=es&nrm=iso).

- Holcim Argentina. (2018). Informe de Desarrollo Sostenible. [Archivo online]. Disponible en: <https://www.holcim.com.ar/desarrollo-sostenible/informe-de-desarrollo-sostenible>.
- Instituto de Estadística y Registro de la Industria de la Construcción. (2019, Febrero) Período Diciembre 2018 – Enero 2019. [Archivo PDF]. Informes de Coyuntura, Informe número 160. Disponible en: <https://www.ieric.org.ar/files/informes/201902.pdf>.
- LENCINAS V. F. C., INCAHUANACO CALLATA B. I., *Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP en la Zona Altiplánica* [en línea]. Ing. Samuel Huaquisto Caceres (dir.). Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano, 2017. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3973>
- Ministerio de Agroindustria. (2019, Julio). Volumen de paquetes vendidos – evolución y rangos de precios. [Archivo PDF]. Disponible en: [https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/tabaco/estadisticas/\\_archivos//000001-Volumen%20de%20Paquetes%20de%20Cigarrillos%20Vendidos%20por%20Rango%20de%20Precio%20\(2008-2019\).pdf](https://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/tabaco/estadisticas/_archivos//000001-Volumen%20de%20Paquetes%20de%20Cigarrillos%20Vendidos%20por%20Rango%20de%20Precio%20(2008-2019).pdf).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2017). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. [Archivo PDF]. Reportes Bienales de Actualización (BUR), segunda edición. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>.
- MIRSILIAN Eduardo, PEREZ BARCIA Víctor. (2018, Abril). Análisis de la industria del cemento en Argentina. *Universidad Nacional de San Martín*. [Archivo PDF]. Disponible en: [http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia\\_regional/Industria\\_cementera\\_Argentina.pdf](http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/Industria_cementera_Argentina.pdf).
- PARERA Manuel. (17 de Mayo de 2018). Producción de tabaco caerá 6% este año, pero la suba del dólar compensaría. *El Cronista*. [en línea]. Disponible en: <https://www.cronista.com/negocios/Produccion-de-tabaco-caera-6-este-ano-pero-la-suba-del-dolar-compensaria-20180517-0013.html>.
- PARERA Manuel. (27 de Agosto de 2018). Baja el consumo de cigarrillos pero ganan espacio las etiquetas locales. *Apertura* [en línea]. Disponible en: <https://www.apertura.com/negocios/Baja-el-consumo-de-cigarrillos-pero-ganan-espacio-las-etiquetas-locales-20180826-0003.html>.

- PILAR DE LUXAR M., SANCHEZ DE ROJAS M. Isabel. (1985). Estudio de Aptitud de un material como adición activa al cemento. *Materiales de Construcción* 35(200).
- Proceso de Fabricación. En: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones [en línea]. IECA, 2017. Disponible en: <https://www.ieca.es/proceso-de-fabricacion/>.
- RUIZ ROSA, Yanay, et al. Análisis de ecoeficiencia de la producción de cementos de bajo carbono mediante la sustitución de clinker. En: Revista Centro Azúcar [en línea] 2017, vol.44, n.2 pp.77-88. ISSN 0253-5777. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612017000200009&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200009&lng=es&nrm=iso).
- Sika Perú S.A. (2013, Marzo). Sika Informaciones Técnicas: Aditivos para concreto. [Archivo PDF]. Disponible en: [https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions\\_products/publicaciones/Brochures/brochures-tecnicos-aditivos-concreto-cemento.html](https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/publicaciones/Brochures/brochures-tecnicos-aditivos-concreto-cemento.html).