



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERIA
COLEGIO DE INGENIERIA CIVIL

**CONCRETO CON ADITIVO CELULÓSICO DERIVADO DE
COLILLAS DE CIGARRO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y
NO ESTRUCTURALES**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JULIO CÉSAR MURRIETA ROMÁN

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. EVILI BÁEZ CASTILLO

CODIRECTOR DE TESIS:

M.I. JOSE LUIS STEFANONI MINUTTI

HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA, JUNIO 23 DE 2025



BUAP

Oficio No. SAC/1029/2025

**C. Julio César Murrieta Román -201969498-
Pasante de la carrera de Ingeniería
Civil
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de esta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“CONCRETO CON ADITIVO CELULÓSICO DERIVADO DE COLILLAS DE CIGARRO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES”

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Directora de Tema a la Dra. Evili Báez Castillo.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
“Pensar bien para vivir mejor”
H. Puebla de Zaragoza, 19 de junio de 2025

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



M'ACGZ/barv
C.c.p. Archivo

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

La que suscribe: Dra. Evili Báez Castillo, directora del tema de tesis:

“CONCRETO CON ADITIVO CELULÓSICO DERIVADO DE COLILLAS DE CIGARRO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES”

Presentada por el C. Julio César Murrieta Román -201969498-, pasante del Colegio de Ingeniería Civil, y en atención al oficio No. SAC/1029/2025 con fecha de emisión 19 de junio de 2025, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a de 11 de junio de 2025



Dra. Evili Báez Castillo
Directora de Tema

D'EBC/BARV
C.c.p. Archivo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a la Dra. Evili Báez Castillo por su invaluable amistad, confianza y dedicación a lo largo de la realización de esta tesis. Su guía y apoyo han sido fundamentales en este proceso.

Al M. I. José Luis Stefanoni Minutti, codirector de esta tesis, por confiar en mi tema de investigación y por su constante disposición para orientar su desarrollo en el área de estructuras.

Al M. I. Alfredo López Hernández, co-asesor de esta tesis, por brindarme su confianza y su paciencia, a lo largo de este trabajo. Le agradezco sinceramente por haberme permitido desarrollar mis conocimientos y habilidades en el área de vías terrestres, especialmente a través de las valiosas capacitaciones impartidas en el laboratorio.

A la Dra. Martha Patricia González Aráoz, por el apoyo incondicional brindado en el proceso de purificación y tratamiento para la realización de esta tesis.

A la Lic. Alix Charin Gutiérrez García, fundadora y directora general de Madre Hiedra, por su admirable labor en favor del medio ambiente. Gracias a su compromiso con la reducción de la huella ecológica y a su generoso apoyo, fue posible obtener las colillas necesarias para el desarrollo de esta tesis.

A la Facultad de Ingeniería.

¡Gracias!

A mis padres.

Por ser mi mayor ejemplo de amor, esfuerzo y perseverancia. Gracias por su apoyo incondicional, sus sacrificios silenciosos y por creer en mí, incluso en los momentos en que yo dudé. Este logro es también suyo, con todo mi corazón.

A mi abuelita.

Porque tu amor ha sido uno de los regalos más grandes que Dios me ha dado. Gracias por cada caricia, cada consejo, cada oración pronunciada en silencio por mí. Tu ejemplo de vida me ha enseñado que el amor verdadero se entrega sin medida y que la humildad y la fe son más poderosas que cualquier adversidad.

A mi tía.

A Micaela Román, mi tía, mi segunda madre, mi pedazo de cielo. No me diste la vida, pero la cuidaste como si fuera tuya. Tu voz me dio paz en medio del ruido, y tu corazón me arropó cuando el mundo se sentía demasiado frío, fuiste mi hogar incluso cuando no había techo.

Me duele que no estés para ver esto, pero te juro que estás en cada palabra escrita, en cada noche de desvelo, en cada logro que mis manos celebran porque las tuyas ya no pueden aplaudir. Esta tesis lleva tu nombre sin decirlo, y si un día alguien pregunta de dónde saqué la fuerza para llegar hasta aquí, diré sin dudar: “De una mujer que me amó como si yo hubiera sido su hijo.” Gracias, por tanto.

RESUMEN

Las colillas de cigarro, presentes en casi todas las esquinas del entorno urbano, liberan más de 4,000 sustancias químicas nocivas que representan una amenaza para el medio ambiente, la fauna y la salud humana. Este pequeño residuo, a menudo ignorado, se ha convertido en uno de los más comunes a nivel mundial. A pesar de estar compuestas principalmente de acetato de celulosa —un derivado orgánico de origen vegetal—, las colillas no son biodegradables, lo que les permite resistir la descomposición durante años, generando una contaminación significativa en suelos y cuerpos de agua.

Ante este desafío ecológico, diversas investigaciones han explorado formas de reciclar las colillas, transformándolas en materiales útiles como asfalto, ladrillos de arcilla cocida y fuentes de carbono. En esta tesis, se propone una alternativa innovadora: incorporar colillas de cigarro al concreto, con el objetivo de desarrollar materiales sostenibles que aprovechen residuos urbanos y, al mismo tiempo, exploren mejoras potenciales en propiedades como la ligereza y la resistencia a la compresión.

El trabajo se fundamenta en una investigación teórica y experimental, en la cual se elaboraron mezclas de concreto con adición del 1%, 2% y 3% de colillas. Se evaluó su desempeño mediante ensayos de resistencia a la compresión, con el fin de determinar su viabilidad como material estructural o, en su defecto, su uso en elementos no estructurales como banquetas o adoquines. Los resultados evidencian que el uso de colillas en concreto representa una alternativa factible para la gestión de este tipo de residuos, abriendo nuevas posibilidades para la construcción sostenible.

Palabras clave: Acetato de celulosa; Colillas de cigarro; Concreto; Sostenibilidad.

ABSTRACT

Cigarette butts, present on almost every street corner in the urban environment, release more than 4,000 harmful chemicals that pose a threat to the environment, wildlife, and human health. This small, often ignored waste product has become one of the most common worldwide. Despite being composed primarily of cellulose acetate—an organic derivative of plant origin—cigarette butts are not biodegradable, allowing them to resist decomposition for years, generating significant pollution in soils and water bodies.

Faced with this ecological challenge, various research projects have explored ways to recycle cigarette butts, transforming them into useful materials such as asphalt, fired clay bricks, and carbon sources. This thesis proposes an innovative alternative: incorporating cigarette butts into concrete, with the goal of developing sustainable materials that utilize urban waste while exploring potential improvements in properties such as lightness and compressive strength.

This work is based on theoretical and experimental research, in which concrete mixtures were prepared with the addition of 1%, 2%, and 3% cigarette butts. Their performance was evaluated through compressive strength tests to determine their viability as a structural material or, alternatively, their use in nonstructural elements such as sidewalks or paving stones. The results show that the use of cigarette butts in concrete represents a feasible alternative for the management of this type of waste, opening up new possibilities for sustainable construction.

Keywords: Cellulose acetate; Cigarette butts; Concrete; Sustainability.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	12
Objetivos generales:.....	12
Objetivos específicos:.....	13
DESARROLLO	14
CAPÍTULO 1.- ESTADO DEL ARTE (IMPACTO AMBIENTAL A LARGO PLAZO)	14
1.1 Definición de las colillas de cigarro o filtros	14
1.2 Características	14
1.3 Evaluación funcional del acetato de celulosa	15
1.4 Evaluación funcional del acetato de celulosa en el concreto.....	16
1.5 impacto ambiental a largo plazo del cigarro	17
1.6 Antecedentes	19
CAPITULO 2.- PROPIEDADES MECÁNICAS	21
2.1 Propiedades mecánicas del concreto	21
2.2 Resistencia a la Compresión	22
2.3 Módulo de Elasticidad	22
2.4 Otras propiedades mecánicas relevantes del concreto.....	23
2.5 Análisis potencial en las propiedades mecánicas en materiales	23
CAPITULO 3. – METODOLOGÍA (PROCESO DE PURIFICACIÓN DE LAS COLILLAS)	25
3.1 Introducción	25
3.2 Análisis previo a la preparación y tratamiento de las colillas	25
3.3 Tratamiento y preparación de las colillas de cigarro	26
3.3 Datos obtenidos	34
CAPITULO 4. – METODOLOGÍA (PROCESO DE DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS)	35

4.1	Introducción	35
4.2	Granulometría (Grava)	36
4.3	Resultados de los pesos volumétricos (Grava y Arena)	41
4.4	Densidad y absorción (Grava)	42
4.5	Resultados de la densidad y absorción (Grava)	43
4.6	Densidad y absorción (Arena)	44
4.7	Resultados de la densidad y absorción (Arena)	48
4.8	Parámetros de diseño	49
4.9	Dosificación (ACI)	49
4.10	Materiales necesarios (Cilindros)	53
4.11	Determinación del revenimiento	54
4.12	Elaboración de probetas cilíndricas	57
4.13	Influencia de las colillas en el peso del concreto	60
4.14	Resultados experimentales	62
4.15	Cabeceo	63
4.16	Ensayo a compresión	64
4.17	Resultados experimentales	66
4.18	Conclusiones	69
4.19	Recomendaciones y observaciones	70
	BIBLIOGRAFÍA	74
	ANEXOS	76

INTRODUCCIÓN

Las colillas de cigarros a nivel mundial son residuos tóxicos y no biodegradables, contaminando masivamente nuestro planeta, representando un desafío ambiental significativo debido a su volumen, persistencia y a los daños constantes a nuestros ecosistemas, ya que las colillas de cigarro albergan una mezcla peligrosa de contaminantes químicos y restos vinculados a la combustión.

Con frecuencia, se desechan de manera irresponsable, abandonadas en las calles o zonas urbanas, donde su presencia se convierte en una amenaza para el medio ambiente, en la Fig.1; Se puede observar la aglomeración de colillas de cigarro en una coladera cerca de ciudad universitaria (BUAP). A pesar de que es un compuesto orgánico, extraído de las paredes celulares de las plantas, principalmente de la madera, no es biodegradable, persistiendo en el medio ambiente durante muchos años, fragmentándose en micro plásticos que pueden ser ingeridos por la fauna y entrar en la cadena alimenticia, liberan metales pesados y otras sustancias químicas tóxicas a medida que se descomponen, por lo tanto, se considera un gran problema a nivel mundial, ya que estas se desechan en vertederos, donde las colillas de cigarro son incineradas, provocando mayor contaminación



Figura 1.- Coladera ubicada cerca de CU (Elaboración propia) (13/04/2025)

A nivel estadístico, se estima que alrededor del 20% de la población mundial fuma cigarrillos (Soleimani, 2022), esta cifra de cigarrillos fumados o consumidos van en aumento, pasando de 4,96 billones en 1980 a 5,5 billones en 2016 (Drope et al., 2018) y se proyecta que alcance los 9 billones para 2025, debido al creciente consumo de cigarrillos (Mohajerani, 2020).

Aproximadamente el 97% de los filtros de cigarrillos están compuestos de acetato de celulosa, un polímero natural modificado (Mohajerani, 2020), además de que es un material no biodegradable, al momento de ser desechadas estas colillas de cigarro, se les puede encontrar restos de tabaco, papel y cenizas, resultantes de la combustión.

Lo más preocupante es que el filtro actúa como una esponja que concentra numerosas sustancias tóxicas presentes en el humo del tabaco como nicotina, alquitrán y algunos metales pesados, por lo tanto, en esta investigación teórica como experimental, buscaremos un desarrollo sostenible y ético, dado que el cambio climático sigue siendo un gran desafío global y el reciclaje para la sostenibilidad se ha vuelto más importante que nunca, buscando alternativas como lo son las colillas de cigarro.

Al aprovechar estos residuos, se buscará un análisis preciso en cuanto a su comportamiento al momento de ser adicionadas al concreto, buscando un equilibrio y evitando que el concreto pierda sus propiedades físicas, tiempo de fraguado y trabajabilidad, ayudando que las futuras estructuras reduzcan su peso y de alguna manera sirvan como aislante de sonidos.

JUSTIFICACIÓN

Existen investigaciones recientes y no tan recientes donde se nos explica sobre la incorporación de las colillas de cigarro en materiales de construcción ya sea en ladrillos, así como, en la creación de un bioplástico para la creación de ceniceros, esto con el fin de reducir la contaminación ambiental y mejorar ciertas propiedades del material, se adjuntan las investigaciones pertinentes:

- Investigadoras y empresarias Gabriela González Neávez y Mixara Muñoz Troncoso del ITESM campus Saltillo, creadoras de un bioplástico a base de colillas de cigarro, teniendo como producto final ceniceros o portavasos.
- Investigadores de la UNAM, han buscado la incorporación de las colillas de cigarro en materiales de construcción, así como, en la degradación de estos mediante hongos, este proyecto busca reducir la contaminación ambiental y aprovechar los residuos de cigarro de manera sostenible.
- El Instituto Politécnico Nacional (IPN) ha desarrollado investigaciones sobre la reutilización de los desechos de la construcción en los pavimentos, como escombros de ladrillos, blocks, entre otros. Los resultados preliminares indican que esta práctica puede contribuir a la reducción de residuos y mejorar la calidad del pavimento (Cecilia, 2008).
- Propiedades físico-mecánicas del hormigón asfáltico incorporado con colillas de cigarrillos encapsuladas (Mohajerani, 2020).

En conclusión, la incorporación de colillas de cigarro en materiales de construcción, como ladrillos o bioplásticos reciclables, presentan una solución innovadora y sostenible para reducir la contaminación ambiental y aprovechar residuos difíciles de degradar. Las investigaciones en México y otros países han demostrado varios beneficios, incluyendo la reducción de residuos, ahorro de energía, mejora del aislamiento térmico y reducción de contaminantes.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

- Desarrollar un nuevo tipo de concreto que incorpore aditivo celulósico proveniente de colillas de cigarro recicladas, buscando cumplir con los requisitos de desempeño para elementos estructurales o no estructurales.
- Evaluar integralmente las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y reducción del peso del concreto), obteniendo resultados mediante pruebas de laboratorio sobre su durabilidad y comportamiento a largo plazo del concreto modificado con aditivo celulósico (colillas de cigarro), en comparación con un concreto de referencia convencional.
- Determinar la viabilidad técnica en la industria de la construcción, pero sobre todo en el ámbito ambiental, buscando y reduciendo el impacto ambiental que estas colillas de cigarro causan en nuestro planeta.

Objetivos específicos:

- Investigación y procesamiento. - Desarrollar un protocolo para el tratamiento y procesamiento de colillas de cigarrillo, incluyendo métodos de limpieza, trituración y modificación química para obtener un aditivo celulósico adecuado.
- Diseño de la mezcla de concreto. - Establecer la dosificación óptima del aditivo celulósico en la mezcla de concreto, considerando diferentes relaciones agua/cemento, tipos de cemento y agregados. Evaluar la trabajabilidad, tiempo de fraguado y otras propiedades del concreto fresco con aditivo celulósico.
- Evaluación de propiedades. - Determinar las propiedades mecánicas del concreto endurecido, incluyendo resistencia a la compresión, cortante y a diferentes edades de curado, así como, buscar la reducción del peso del concreto.
- Análisis de viabilidad. - Cuantificar el impacto ambiental del uso de colillas de cigarrillo recicladas en la producción de concreto, incluyendo la reducción de residuos, el consumo de energía y la posible disminución de la huella de carbono. Proponer recomendaciones para el diseño y construcción de elementos estructurales y no estructurales utilizando concreto con aditivo de colillas de cigarro.

DESARROLLO

CAPÍTULO 1.- ESTADO DEL ARTE (IMPACTO AMBIENTAL A LARGO PLAZO)

1.1 Definición de las colillas de cigarro o filtros

Las colillas de cigarro se pueden definir como un componente diseñado para modificar la composición química y física del humo inhalado durante el acto de fumar. Su función principal es la de retener selectivamente ciertos componentes del humo buscando reducir la cantidad de partículas y gases potencialmente dañinos que llegan a los pulmones del fumador, buscando la reducción de la exposición a ciertos carcinógenos, irritantes y de otras toxinas.

1.2 Características

Las colillas de cigarro no se consideran un elemento casual, ya que su estructura y materiales que lo componen, se eligen con un propósito específico, realizando un análisis exhaustivo, teniendo una comparativa de la composición del humo antes y después al momento de pasar por la colilla del cigarro.

Generalmente los cigarros tienen una longitud de 85 o 100 mm y un diámetro de aproximadamente 8 mm, estos se componen por un filtro, tabaco, aditivos y envoltura de cigarrillo. En cuestión a los filtros o colillas de cigarro, suelen tener una longitud de 20 a 30 mm de largo, en la Figura 2; Se observan las medidas del cigarro.

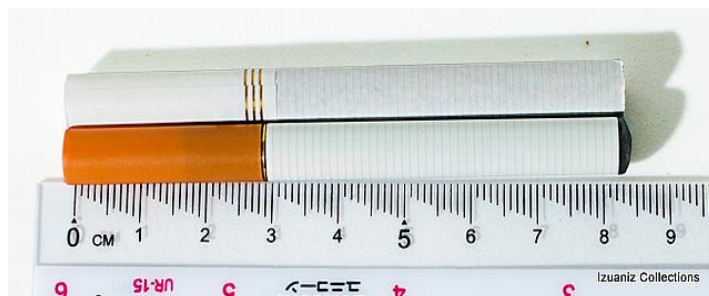


Figura 2.- Medidas estándar en los cigarrillos (SEUR).

Las colillas de cigarro son fibras de plástico sintético similar al algodón (acetato de celulosa). Para unir el tapón a la envoltura del cigarrillo se utiliza una emulsión de resina de vinilo. Además, el tapón del filtro está protegido por un papel de boquilla, que tiene la función de conectar el filtro a la columna de tabaco y no de adherirse a los labios de los fumadores. Las hojas de tabaco contienen varios alcaloides, incluida la nicotina.

Generalmente, el papel que se utiliza para envolver el tabaco está compuesto de lino o fibra de lino; Además, para controlar o acelerar la velocidad de combustión, se añaden al papel diversas sustancias químicas, como sales, fosfato de amonio y citratos de sodio y potasio, garantizando la creación de cenizas a medida que se quema el cigarro, (Ng et al., 2014) (OMS, 2018) (Roser y Ritchie, 2020).

1.3 Evaluación funcional del acetato de celulosa

El acetato de celulosa específicamente del filtro de un cigarro se define como una estructura polimérica lineal con cadenas de acetato de celulosa, un polímero termoplástico semicristalino. Las regiones cristalinas le agregan resistencia y rigidez, mientras que las regiones amorfas le proporcionan flexibilidad.

En cuanto a su estructura fibrosa del filtro es creada mediante procesos de hilado seco o en húmedo de la solución del acetato de celulosa, generando una red tridimensional de fibras con una distribución específica del tamaño de un poro, esta porosidad es fundamental para la retención de las partículas y componentes del humo del cigarro. El acetato de celulosa debe ser capaz de resistir las temperaturas generadas durante la combustión del cigarro sin degradarse significativamente y liberando subproductos no deseados.

Hoy en día, se sigue investigando los filtros de cigarro, logrando optimizar su eficiencia de filtración sin comprometer al cigarro en general, mediante la distribución del tamaño del poro, aditivos, así como, modificaciones superficiales.

1.4 Evaluación funcional del acetato de celulosa en el concreto

Cuando hablamos específicamente del concreto, lo primero que debatimos es sobre su relación agua/cemento o sobre como este se compone, pero el concreto es más que una simple mezcla de agregados, el concreto es un material muy versátil, así como resistente, utilizado en una amplia variedad de construcciones, el concreto lo podemos apreciar desde una casa hasta un rascacielos, conectando diferentes partes de una ciudad o país, entre otras construcciones.

El concreto, además de sus componentes básicos (cemento, agua, arena y grava), puede ser reforzado con diferentes tipos de aditivos, cada uno con características y aplicaciones específicas, ya sea para combatir la corrosión del acero de refuerzo debido a la carbonatación del concreto, así como a la erosión, esto debido a la acción mecánica del tráfico, el agua o el viento.

Una de las ventajas potenciales al momento de incorporar colillas de cigarro en materiales de construcción, podría ser la mejora del aislamiento térmico. Un estudio encontró que la adición de colillas en estos materiales redujo el coeficiente de transferencia de calor, lo que podría traducirse en una disminución del consumo de energía eléctrica necesaria para la refrigeración de edificios. Esta propiedad podría ser beneficiosa para mitigar el efecto de isla de calor urbano, un fenómeno que ocurre en áreas urbanas con una alta concentración de superficies de concreto y asfalto que absorben y retienen calor.

Estos hallazgos preliminares sugieren que la incorporación de las colillas de cigarro en el concreto podría ofrecer beneficios adicionales en términos de eficiencia energética y sostenibilidad urbana.

En nuestro caso, se pretende incorporar las fibras de acetato de celulosa (colillas de cigarro) buscando que el concreto tenga o iguale su resistencia a la compresión, justificando si es que así lo requiere, una reducción al peso mismo, reduciendo el impacto ambiental, además de reducir la formación de microgrietas, debido a los cambios de temperatura.

A pesar de los grandes desafíos, existen algunas áreas donde la incorporación del acetato de celulosa (colillas de cigarro) podría ser investigado en el concreto, aunque con un enfoque limitado o con pocas modificaciones significativas, ya sea como fibras de refuerzo, teniendo un buen procesamiento para mejorar su adherencia en el concreto, con el beneficio de controlar la retracción plástica o térmica en etapas tempranas del curado, así como estudiar la durabilidad a largo plazo y el impacto en la resistencia mecánica del concreto, es por ello que esta investigación pretende dar respuestas a problemas ya existentes de manera experimental.

1.5 impacto ambiental a largo plazo del cigarro

Las colillas de cigarrillo tardan de 2 a 10 años en degradarse, contienen sustancias dañinas para el medio ambiente que pueden contaminar grandes cantidades de agua. El tabaco, y el humo que desprende en su combustión, contienen más de 4.000 sustancias químicas, 400 de ellas muy tóxicas, unas 50 cancerígenas y 12 gases tóxicos. Estas sustancias químicas son filtradas y concentradas por medio de las colillas de cigarrillo. A continuación, se resumió las principales sustancias:

- Nicotina
- Monóxido de carbono
- Alquitrán
- Gases irritantes

Las colillas de cigarro “**no son biodegradables**”, por lo que no deben ser desechadas junto con residuos orgánicos. Es un pequeño residuo que es difícil de reciclar, por lo tanto, se deben encontrar nuevas formas creativas de desecharlo correctamente. En la rama de la ingeniería, para ser más específicos en la ingeniería civil, la construcción es un sector clave en la economía, encargado de la edificación de infraestructuras y viviendas, por lo que el material ampliamente utilizado en la construcción es el concreto, debido a sus propiedades físicas y mecánicas como su resistencia, durabilidad y versatilidad, por lo tanto, la no biodegradabilidad del

acetato de celulosa significa que las colillas persisten en el medio ambiente durante largos períodos, contribuyendo a la contaminación visual y física. Además, las colillas desechadas incorrectamente pueden ser una causa de incendios forestales, y su degradación genera microplásticos que también contaminan el medio ambiente. Los costos económicos asociados a la limpieza de estos residuos también son considerables.

Las colillas de cigarrillos, aunque son insignificantes en tamaño, cada año se producen billones de cigarrillos en todo el mundo, lo que da como resultado la acumulación de toneladas de basura tóxica.

Un estudio reciente muestra que la producción actual de cigarrillos es de 6 billones, de los cuales 5,8 billones se consumen cada año (Zafeiridou et al., 2018). Según la Organización Mundial de la Salud, la producción alcanzará los 9 billones en 2025 (Mohajerani, 2020).

Ver Figura 3; Muestra la venta de cigarrillos por fumador adulto por día en algunos países del mundo (Ng et al., 2014) (Roser y Ritchie, 2020) (Friend, 2002).

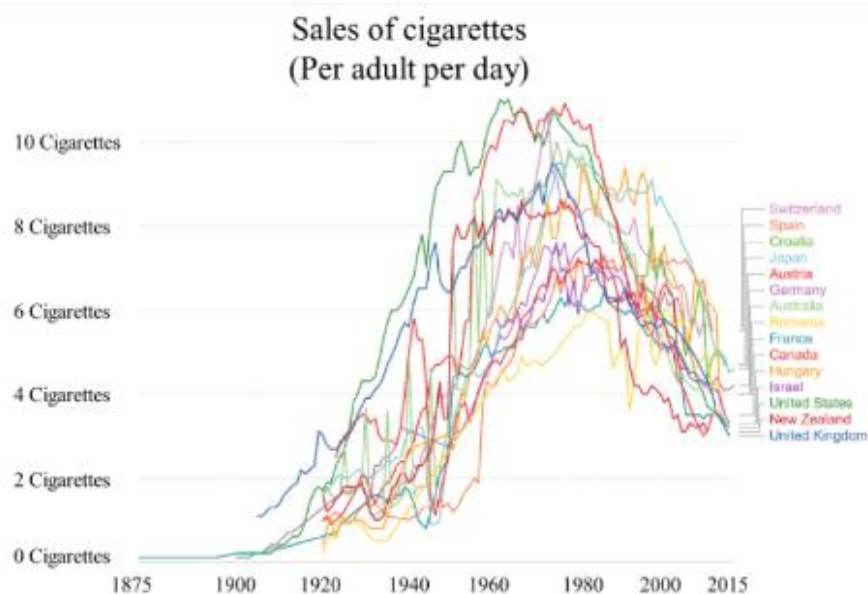


Figura 3.- Ventas de cigarrillos en algunos países del mundo (Ng et al., 2014)
(Roser y Ritchie, 2020) (Friend, 2002).

En conclusión, a pesar de que ya existen planes de acción para desincentivar el acceso al tabaco, donde en los últimos años se ha visto con mayor relevancia las leyes sobre zonas libres de humo, donde en cada cajetilla se puede observar las advertencias que estas generan al momento de ser consumidas y el nulo acceso a la publicidad, el consumo de tabaco sigue siendo un gran problema a nivel mundial, no solo en la salud pública, sino también a nuestro medio ambiente, nuestro planeta tierra. Ver Figura 4.



Figura 4.- Publicidad, fotografía propia.

1.6 Antecedentes

Recapitulando y complementando con la información anterior, se ha informado que el 75% de los fumadores, desechan sus colillas de cigarrillos en el suelo, incluso en lugares públicos, por ende, los investigadores han descubierto que las colillas representan más de un tercio del total de residuos que se tiran en el planeta (Ng et al., 2014).

La mayoría de las colillas de cigarro están compuestas por filtros de acetato de celulosa, un polímero con poca biodegradabilidad.

Mientras tanto en México, donde existen aproximadamente 14.3 millones de fumadores, se ha estimado que se desechan 50 mil millones de colillas al año.

Una sola colilla de cigarro, sobre todo en épocas de lluvia, puede contaminar hasta 50 litros de agua dulce (Leopoldo, 2016), por lo tanto, es de suma importancia empezar a implementar nuevos métodos, utilizando la ingeniería a nuestro favor, evitando que estos desechos no biodegradables sigan contaminando nuestro medio ambiente, en lo particular nuestra fuente de vida, el agua.

Los métodos convencionales de eliminación de residuos no siempre son eficientes ni respetuosos con el medio ambiente, siendo la incineración uno de los métodos más populares (OMS, 2018), así como, el enterramiento en vertederos.

Sin embargo, las investigaciones han demostrado que las emisiones de CO₂ de los incineradores son mayores que las de las centrales eléctricas impulsadas por carbón, petróleo o gas.

Tomando como punto de partida el último método convencional, (en cuanto este se refiere al uso de incineradores), estos producen 210 compuestos tóxicos diferentes, entre ellos mercurio, fluoruros, ácido sulfúrico, óxido nitroso, cloruro de hidrógeno y cadmio (Ng et al., 2014), ambas técnicas pueden generar la liberación de humos peligrosos y pueden ser muy costosas.

CAPITULO 2.- PROPIEDADES MECÁNICAS

2.1 Propiedades mecánicas del concreto

El concreto es un material compuesto fundamentalmente para la industria de la construcción, constituido principalmente por una mezcla de cemento Portland, agregados finos (arena) y gruesos (grava o piedra triturada), agua y en ocasiones, aditivos químicos o minerales. La versatilidad del concreto radica en su capacidad para ser moldeado en diversas formas cuando se encuentran en estado plástico, lo que lo convierte en un material idóneo para una amplia gama de elementos estructurales, desde losas de piso, cimentaciones, vigas, columnas y pavimentos.

Las propiedades mecánicas del concreto definen su comportamiento bajo la acción de diversas cargas, estas cargas son de vital importancia para garantizar la seguridad y la funcionalidad de las estructuras en ingeniería civil. Estas propiedades, como la resistencia a la compresión, la tracción y el módulo de elasticidad determinan la capacidad de una estructura para soportar las fuerzas a las que estará sometida durante su vida útil.

La proporción y el tipo de cada uno de los componentes del concreto juegan un papel crucial en el desarrollo de sus propiedades mecánicas. Por ejemplo, la relación agua/cemento donde esta mezcla influye directamente en la resistencia final del concreto.

La presente tesis tiene como objetivo analizar de manera experimental las propiedades del concreto, siguiendo las normativas vigentes, explorando la viabilidad de incorporar un residuo abundante y problemático, las colillas de cigarro, como un posible aditivo, encontrando soluciones sostenibles para la gestión de residuos, y amigables con el medio ambiente

2.2 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad fundamental del concreto para soportar cargas axiales que tienden a reducir su volumen. La prueba estándar para determinar la resistencia a la compresión consiste en aplicar una carga gradualmente creciente hasta la falla en probetas de concreto con dimensiones específicas, generalmente cubos o cilindros, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C39.

Diversos factores influyen en la resistencia a la compresión del concreto, siendo la relación agua/cemento uno de los más importantes, una menor relación agua/cemento generalmente resulta en un concreto más resistente. La eficiencia del proceso del mezclado y las condiciones de curado (temperatura y humedad durante un periodo de tiempo) son igualmente cruciales para el desarrollo óptimo de la resistencia. En el diseño estructural, la resistencia a la compresión es la propiedad mecánica más utilizada para la especificación y el control de calidad del concreto. Es un parámetro esencial para el dimensionamiento de elementos estructurales que principalmente trabajan a la compresión, como columnas, muros de carga y cimentaciones.

2.3 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto es una medida de su rigidez, indicando la magnitud de la deformación elástica que experimenta bajo una carga aplicada y su capacidad de recuperar su forma original una vez que la carga se retire. Este comportamiento se rige por la Ley de Hooke, que establece una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, expresada en gigapascales (Gpa).

El método estándar para determinar el módulo de elasticidad del concreto (ASTM C469) implica la aplicación de una carga compresiva axial a una probeta y la medición de la deformación longitudinal resultante. El módulo de elasticidad se calcula como la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria en la región elástica.

2.4 Otras propiedades mecánicas relevantes del concreto

Resistencia a la Flexión: La resistencia a la flexión se utiliza como una medida indirecta de la resistencia a la tracción del concreto, evaluando la capacidad de un elemento de concreto no reforzado, como una viga o una losa, para resistir la falla por flexión.

Tenacidad: La tenacidad es la capacidad del concreto para absorber energía y resistir la fractura bajo cargas de impacto, esta propiedad es importante en estructuras que pueden estar sujetas a cargas dinámicas, como las que ocurren durante los terremotos o impactos.

Durabilidad: La durabilidad se refiere a la capacidad del concreto para mantener su integridad y funcionalidad a lo largo del tiempo, resistiendo el deterioro causado por diversos factores ambientales, químicos y físicos.

2.5 Análisis potencial en las propiedades mecánicas en materiales

Existen investigaciones previas, en cuanto a la fabricación e inclusión de partículas o fibras de acetato de celulosa en materiales de construcción. Un área importante de estudio ha sido la utilización de colillas de cigarro en la fabricación de ladrillos de arcilla cocidos, donde se ha observado que su adición puede reducir la energía necesaria para la cocción, mejorando el aislamiento térmico de los ladrillos y aligerar su peso.

Otra línea de investigación se ha centrado en la incorporación de colillas de cigarro en el asfalto, utilizado para la pavimentación de carreteras, con resultados positivos como en su durabilidad y una posible reducción del efecto isla de calor urbano en el asfalto. Además de esos usos principales, también se han explorado otras aplicaciones de las colillas de cigarrillo recicladas, como la producción de papel, el relleno de juguetes, la fabricación de muebles, la creación de materiales absorbentes y su uso como inhibidores de corrosión.

Cabe mencionar que aún no existen estudios suficientes sobre el uso de fibras de acetato de celulosa tratadas en concretos de **Cemento Portland**, por lo que, es de suma importancia una evaluación rigurosa para garantizar que el producto final cumpla con estos estándares en términos de resistencia mecánica, durabilidad a largo plazo y seguridad en su uso.

Es por ello que en este tema de investigación, se aplicaran pruebas exhaustivas para verificar que el concreto modificado con colillas de cigarro, alcance los niveles de rendimiento requeridos para una aplicación específica, ya sea estructural o no estructural, analizando cada una de las propiedades mecánicas del concreto, así como, en la relación agua/cemento, comparando la resistencia a la compresión adquirida en los días 7, 14 y 28 días de un concreto normal y con un concreto de las mismas características, pero adicionando con colillas de cigarrillo.

Buscando una solución práctica y que pueda implementarse a gran escala para el manejo de los vastos volúmenes de desechos de colillas de cigarrillo, ya que, al ser un polímero fotodegradable, no es fácilmente biodegradable persistiendo durante años en el medio ambiente. La idea de transformar un residuo que causa graves problemas ambientales en un recurso valioso para la industria de la construcción es un concepto atractivo desde una perspectiva de sostenibilidad.

CAPITULO 3. – METODOLOGÍA (PROCESO DE PURIFICACIÓN DE LAS COLILLAS)

3.1 Introducción

Por iniciativa propia y con ayuda de un grupo de estudiantes de la **facultad de ingeniería** de la **Benemérita Universidad Autónoma De Puebla**; Así como, por la fundación Madre Hiedra, dedicada al reciclaje de materiales y búsqueda de alternativas ecológicas, se llevó a cabo una campaña en los alrededores de la universidad, buscando el dialogo de manera estratégica con dueños de diversos establecimientos comerciales como lo son en: bares, antros, restaurantes y cafeterías; Colocando contenedores a base de materiales reciclables en su mayoría tubos de PVC, recolectando una cantidad considerable de colillas de cigarro, aunque el reciclaje de las colillas de cigarro fue algo difícil, esta campaña estuvo comprometida al fomentar el reciclaje de estos desechos no degradables, que en su mayoría son desechados de manera irresponsable.

3.2 Análisis previo a la preparación y tratamiento de las colillas

La presencia del acetato de celulosa es el principal componente de las colillas de cigarro. Las colillas de cigarrillo son conocidas por contener una amplia gama de sustancias tóxicas y metales pesados que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente si se liberan. Un estudio sobre ladrillos de arcilla que incorporaban colillas encontró que el proceso de cocción a alta temperatura redujo significativamente la lixiviación de metales pesados, probablemente debido a la inmovilización de estos metales durante el proceso de cocción. Sin embargo, otro estudio encontró que la presencia de colillas en residuos de vertedero aumentó la concentración de metales pesados en el lixiviado. Estos resultados subrayan la importancia de comprender y mitigar el potencial de lixiviación al utilizar colillas de cigarrillo en materiales de construcción, incluyendo el concreto (Mohajerani, 2020).

Por lo tanto, al considerar la incorporación de colillas en el concreto, es crucial analizar el potencial de lixiviación de estas sustancias tóxicas del material compuesto resultante, ya que, existe la posibilidad de que estas sustancias puedan interactuar con la matriz del concreto o lixiviarse con el tiempo, comprometiendo su integridad. Para abordar la preocupación sobre la toxicidad de las colillas, se han explorado diversas técnicas de tratamiento. Una de ellas es el blanqueamiento de las fibras de acetato de celulosa con productos químicos orgánicos, con el objetivo de neutralizar las toxinas presentes. Otra estrategia importante es la encapsulación de las colillas. Este proceso implica recubrir las colillas con una capa de un material que actúe como barrera para evitar la liberación de sustancias tóxicas.

Los materiales más comúnmente investigados para la encapsulación son el betún (asfalto) y la cera de parafina, especialmente en el contexto de pavimentación (asfalto),

3.3 Tratamiento y preparación de las colillas de cigarro

El proceso de purificación o tratamiento de las colillas de cigarro se realizará en el laboratorio ambiental de la Facultad de Ingeniería de la BUAP, con ayuda de la Dr. Martha Patricia González Aráoz, Asesora de esta tesis, encargada en la supervisión de la purificación de las colillas, así como en depositar de manera adecuada los residuos de las colillas de cigarro, en el área de ingeniería ambiental, laboratorios disciplinarios de la facultad de ingeniería, buscando un cierto grado de purificación y tratamiento de las colillas de cigarro (acetato de celulosa).

La preparación adecuada de las colillas de cigarrillo es un paso fundamental antes de su incorporación en la mezcla de concreto, aclarando que cada tema de investigación tiene un objetivo específico para llegar a las propiedades deseadas. Esto incluye la limpieza para eliminar residuos de tabaco y otros contaminantes, así como posibles tratamientos para mitigar la lixiviación de sustancias tóxicas.

Por lo tanto, el método aplicado en este tema de investigación para el tratamiento y purificación de las colillas, será mediante una limpieza, separando de manera manual la ceniza y el tabaco no utilizado, seguida de un lavado exhaustivo con agua destilada para remover la suciedad adherida, continuando con un nuevo lavado pero ahora con etanol al 70% para mantener las colillas de cigarro lo más limpias posibles de los metales pesados y tóxicos, combatiendo los malos olores, después del lavado, las colillas se someten a un proceso de secado de manera natural durante 48 horas, esto con la finalidad de ejecutar un método seguro y conservador, buscando reducir las sustancias químicas de las colillas de cigarro y recuperando el acetato de celulosa para adicionarlas a nuestras probetas de concreto. En la Figura 5, se muestra la recolección de las colillas, así como una previa selección de las colillas en mejor condición, evitando las colillas quemadas en su totalidad o húmedas con otro tipo de líquido que no sea agua destilada (Ana et al., 2020).



Figura 5.- Preparación y selección de las colillas.

(Elaboración propia) (26/02/2025)

En las figuras 6 y 7, podemos observar las colillas ya seleccionadas para su tratamiento, se recolecto un total de 10 kilos de colillas en donde, solo 8 kilos fueron aptas para su tratamiento (Ana et al., 2020).



Figura 6 y 7.- colillas finales para su tratamiento (Elaboración propia) (26/02/2025).

En la figura 8, se puede apreciar un vaso precipitado, en donde se le agrego 700 ml de agua estilada. De acuerdo con el procedimiento a seguir, el agua destilada tuvo que alcanzar una temperatura de 60°grados, esto con la finalidad de quitar los residuos de tabaco y quitar con mayor facilidad el papel que proteger a la colilla de cigarro (acetato de celulosa).

Figura 8.- Vaso precipitado alcanzando una temperatura de 60° en una parrilla de calentamiento y agitación (Elaboración propia).



En la figura 9, se observa el agregado de las colillas de cigarro al agua destilada con la temperatura alcanzada de 60° grados durante 30 minutos. Cabe mencionar que cada vaso precipitado se agregaban 600 gramos de colillas de cigarro, evitando así el desborde de líquidos, ya que, al ser un filtro, el agua destilada penetraba en cada una de las colillas (Ana et al., 2020).



Figura 9.- Vaso precipitado con colillas de cigarro (Elaboración propia).

En las figuras 10 y 11, podemos observar que el primer lavado ha culminado, por lo tanto, se buscara limpiar a profundidad, quitando el tabaco residual de las colillas, asi como, en desprender el papel que protege a las colillas de cigarro (acetato de celulosa), para proseguir con un segundo lavado (Ana et al., 2020).



Figura 10.- limpieza residual del tabaco y desprendimiento del papel que protege a la colilla Elaboración propia).



Figura 11.- limpieza residual del tabaco y desprendimiento del papel que protege a la colilla Elaboración propia).

En la figura 12, se aprecia las colillas ya limpias de cualquier suciedad retenida durante su recolección, esperando su segundo lavado con agua destilada a temperatura ambiente.

Figura 12.- Colillas limpias de cualquier impureza (Elaboración propia),



En figura 13, podemos observar su segundo lavado con agua destilada, pero a temperatura ambiente.



Figura 13.- Segundo lavado de las colillas de cigarro en agua destilada a temperatura ambiente. (Elaboración propia).

En las figuras 14, las colillas de cigarro pasaron a su tercer lavado, pero con la diferencia de que estas colillas serán lavadas a base de etanol al 70%, llegando a su tratamiento final, retirando la mayoría de los metales pesados y tóxicos.



Figura 14.- etapa de lavado a base de etanol al 70% (Elaboración propia).

En la figura 15, las colillas de cigarro fueron pesadas para determinar la absorción de agua retenida antes de que estas se dejaran secar durante 48 horas a temperatura ambiente, teniendo un aumento de peso de 50 gramos por cada 300 gramos de colillas de cigarro.



Figura 15.- Peso de las colillas de cigarro antes de su secado (Elaboración propia)

En la figura 16 y 17, las colillas de cigarro fueron extendidas creando filamentos delgados con un tamaño aproximado de 0.5 a 1 mm, lo que podría facilitar su dispersión en la matriz del concreto.



Figura 16.- Colillas limpias, extendidas creando filamentos finos para la dispersión del concreto (Elaboración propia)



Figura 17.- Colillas limpias, extendidas creando filamentos finos para la dispersión del concreto (Elaboración propia)

3.3 Datos obtenidos

Al término de su tratamiento, las colillas de cigarro fueron pesadas siguiendo el porcentaje necesario para esta investigación:

Porcentaje necesario de colillas de cigarro (cilindro)					
Descripción		Peso por cilindro		Porcentajes	
Diametro	0.15 m	12.72348	kg	1%	53.01 gr
Altura	0.3 m			2%	106.03 gr
				3%	196.15 gr
				Total	355.20 gr

Peso total de colillas de cigarro	
1065.59145	gr

Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes fueron obtenidos mediante la volumetría del cilindro no del peso del cilindro.

CAPITULO 4. – METODOLOGÍA (PROCESO DE DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS)

4.1 Introducción

En este capítulo se abordará la determinación de la granulometría de los materiales (Grava y Arena), obteniendo el peso volumétrico suelto seco, compactado y varillado, así como su absorción, y densidad. Estos parámetros de diseño son de suma importancia para alcanzar la mejor calidad de nuestra mezcla, la cual alcanzara una resistencia a la compresión de 250 kg/cm², ha este diseño se le agregara de manera mínima las fibras de acetato de celulosa (colillas de cigarro), previamente ya descontaminadas y selladas mediante un previo secado, teniendo cierta aportación del 1%,2% y 3%, posteriormente se aplicará la prueba de la resistencia a la compresión del concreto a nuestras mezclas de diseño. Esto con la finalidad de comprender el mecanismo fisicoquímico que acompaña la incorporación de las fibras de acetato de celulosa (colillas de cigarro).

Al contar con la cantidad suficiente de los materiales, se realizó un tendido de los mismos, esto con la finalidad de que al momento de ser trasladado se haya adquirido una que otra basurilla que no sea del material adquirido, así como, el exceso humedad, ya que, en días anteriores se presentaron lluvias en la facultad; Ver figura 18.



Figura 18.-

Tendido del material.

Cada 30 minutos, el tendido se mezclaba y se cambiaba de posición, logrando un secado homogéneo, al concluir el secado del material, este se almaceno en el laboratorio de vías terrestres en la Facultad de Ingeniería de la BUAP, dejando pasar 24 horas para el inicio de su granulometría.

4.2 Granulometría (Grava)

Comenzamos con la granulometría de la grava, extrayendo una cantidad considerable del material para un análisis exitoso. El material fue tendido por partes a una altura de 20 cm por cada palada de material, logrando que el material de gran tamaño sea desplazado a las orillas, formando un cono; Ver figura 19.



Figura 19. - Prueba de materiales (Grava)

Continuando con la prueba del material, antes del cuarteado con ayuda de una pala se achato el cono, para que los materiales que se hayan estancado terminen de caer de manera natural, siguiendo la misma metodología de que los materiales grandes terminen en las orillas; Ver figura 20.



Figura 20.- Seguimiento de la metodología para la prueba de materiales.

Continuamos con el cuarteado del material para empezar a obtener muestras para nuestra prueba de material a la grava; Ver figura 21.



Figura 21.- Seguimiento de la metodología para la prueba de materiales.

Después del cuarteado de la grava, empezamos a tomar muestras del material de manera diagonal seleccionando que nuestros montones de material sean simétricos, esta primera prueba es para determinar el peso volumétrico seco suelto; Ver figura 22.



Figura 22.- Selección del material para analizar.

El llenado del molde debe tener una altura de 20 cm, tomando como punto de inicio la punta del cono que se vaya formando al momento de ingresar el material, cuando este haya llegado a su máxima capacidad, con ayuda de un rastrillo o regla metálica, retiramos el material excedente, pasando al pesaje del material; Ver figura. – 23 y 24.

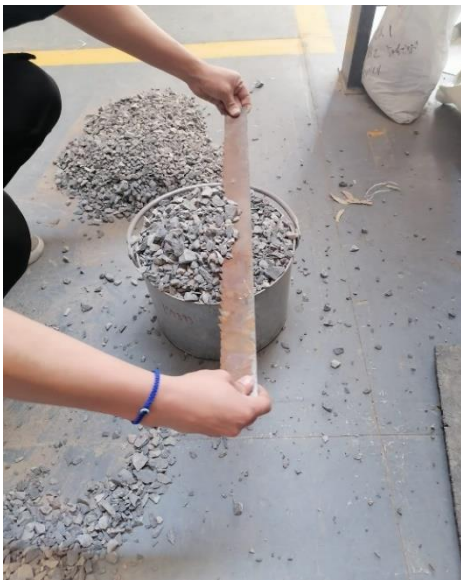


Figura 23.-. Eliminación de exceso de material.



Figura 24.- Análisis para el peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S).

Continuando con los muestreos para determinar el peso volumétrico seco compacto y peso volumétrico seco varillado, se debe llenar el molde cada 1/3 y en cada capa se debe realizar 25 golpes, esto con la finalidad de que los materiales se acomoden en el molde, cada prueba dependerá del tipo de muestreo. Para el compacto es necesario golpear la muestra en el suelo y para el varillado es ir golpeando en forma de espiral para que sea válido: Ver figura 25 y 26.



Figura 25- Análisis para el peso volumétrico seco compacto (P.V.S.C).



Figura 26.- Análisis para el peso volumétrico seco varillado (P.V.S.V).

Después de concluir con el análisis de los pesos volumétricos, empezamos con el tamizado del material para determinar su densidad, separando y clasificando las partículas que se van reteniendo en el tamiz mediante una agitación para eliminar partículas de polvo, arcilla u otros materiales indeseables que pueden afectar en la calidad de la grava; Ver figura 27 y 28.



Figura 27.- Tamizado de la grava.



Figura 28.- Separación y clasificación del tamaño del material.

Para obtener la granulometría y el muestreo de la arena, se realizó el mismo procedimiento solo que cambiaron los números de las mallas para obtener su granulometría y su módulo de finura, obteniendo su densidad y absorción; Ver anexo.

4.3 Resultados de los pesos volumétricos (Grava y Arena)

Pesos volumétricos (Grava)			
Datos generales	Volumen del molde	10000	ml
	Peso del molde	4994.6	gr
P.V.S.S			
Datos obtenidos	Peso bruto	18742	gr
	Peso del material	13747.4	gr
Peso volumetrico suelto seco (P.V.S.S)		1374.74	gr
P.V.S.C			
Datos obtenidos	Peso bruto	19512.1	gr
	Peso del material	14517.5	gr
Peso volumetrico suelto seco		1451.75	gr
P.V.S.V			
Datos obtenidos	Peso bruto	19154.3	gr
	Peso del material	14159.7	gr
Peso volumetrico suelto seco		1415.97	gr

Fuente: Elaboración propia

Pesos volumétricos (Arena)			
Datos generales	Volumen del molde	2850.4	ml
	Peso del molde	2486.3	gr
P.V.S.S			
Datos obtenidos	Peso bruto	6433.4	gr
	Peso del material	3947.1	gr
Peso volumetrico suelto seco (P.V.S.S)		1384.753	gr
P.V.S.C			
Datos obtenidos	Peso bruto	6931.4	gr
	Peso del material	4445.1	gr
Peso volumetrico suelto seco		1559.4653	gr
P.V.S.V			
Datos obtenidos	Peso bruto	6859.8	gr
	Peso del material	4373.5	gr
Peso volumetrico suelto seco		1534.3461	gr

Fuente: Elaboración propia

4.4 Densidad y absorción (Grava)

Cuando concluimos el tamizado de la grava, seleccionamos 200 gramos de material, este material lo dejamos sumergido en agua durante 24 horas, para determinar su densidad y absorción de la grava y arena. Para la absorción de la grava se necesitó de un sifón, en donde primero se llenó a su máxima capacidad, y se fue ingresando con mucha delicadeza el material, pero antes de agregar el material (grava) al sifón, se debe buscar mitigar las partículas de agua para que no existan errores al momento de calcular la absorción y la densidad; Ver figura 29, 30 y 31.



Figura 29.- Agregado del material al sifón.



Figura 30.- Recolección de volumen expulsado del sifón.



Figura 31.- Resultado del volumen expulsado del sifón.

Al término de la prueba de absorción de la grava, esta se coloca ya sea en el horno o/a una estufa para volver a dejar el material en estado seco y volver a pesarlo para ver las diferencias que se obtuvo en estado húmedo y seco; Ver figura 32.

Figura 32.- Secado del material.



4.5 Resultados de la densidad y absorción (Grava)

Densidad (Grava)		
Datos		
Volumen Desalogado	80	ml
Peso humedo	207.09	gr
Peso de la tara	336.72	gr
Peso seco	206.47	gr
Pignometro	1000	cm3
Formula		
$\gamma = \frac{W_{af}}{V_d}$		
Resultado	2.5 gr	
Absorción (Grava)		
$W_{ab} = \frac{W_h - W_s}{W_s}$		
Resultado	0.3002858 gr	

Fuente: Elaboración propia

4.6 Densidad y absorción (Arena)

Para la densidad y absorción de la arena, el material se dejó reposando durante 24 horas, al paso de estas horas el material se lava para eliminar las partículas impuras, ya sea el polvo o partículas que hayan pasado la malla numero cuatro por accidente; Ver figura 33.



Figura 33.- Lavado del material (Arena).

Terminando el lavado, debemos esperar el secado, esto con la finalidad de agregarlo por capas en un cono, en donde la primera capa llegara a $1/3$ del cono en donde se le darán 10 golpes en forma de espiral para que el material se compacte, para la segunda capa se debe llenar a $2/3$, en donde también debemos darle 10 golpes y para la ultima capa solo le daremos 5 golpes, sumando todos los golpes para esta prueba se necesitan 25 golpes; Ver figura 34.



Figura 34.- Agregado del material (Arena).

Terminando de llenar el cono, lo retiramos de manera muy lenta y delicada para no estropear los resultados de la prueba, para saber que la prueba fue exitosa, el material deberá mantener la forma de cono, pero en forma de filamento más delgado, en donde los materiales pesados se desbordan a los lados; Ver figura 35.



Figura 35.- Cono de arena para determinar su densidad.

Al concluir el paso anterior, la arena se mantiene en estado húmedo, por lo tanto, para determinar su densidad en estado seco aceleramos el proceso mediante su secado en parilla para obtener los últimos resultados; Ver figura 36 y 37.



Figura 36.- Secado del material.



Figura 37.- Peso del material en estado seco

Terminando la prueba de densidad, comenzamos con la prueba de absorción en donde pesamos el matraz sin material como se observa en la figura 38.



Figura 38.- Pesaje del matraz

Con ayuda de un embudo se agrega el material en nuestro caso fue una referencia de 100 gr, y se procede a llenar el matraz con agua destilada a un nivel determinado para obtener los datos precisos; Ver figura 39.



Figura 39.- Llenado del matraz.

El material agregado debe agitarse para quitar toda burbuja de aire, por lo que al momento de agitarse el material expulsa el contenido de aire mediante espuma, esta espuma se queda estancada en el borde del matraz, así que con ayuda de un trapo o estopa debemos retirar esa espuma; Ver figura 40.

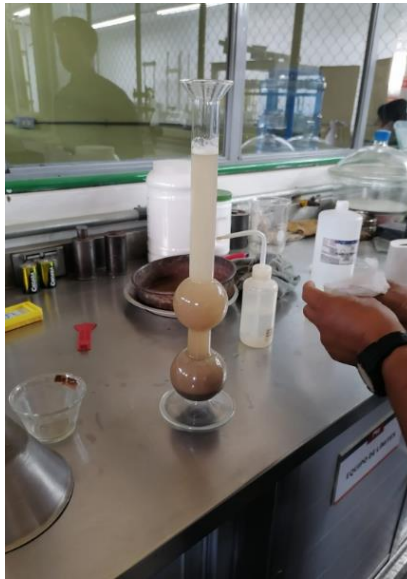


Figura 40.- Retiro de espuma.

Al retirar esa espuma volvemos a llenar el matraz a su nivel establecido y se pesa para empezar con los cálculos correspondientes; Ver figura 41.



Figura 41.- llenado y pesaje.

4.7 Resultados de la densidad y absorción (Arena)

Densidad (Arena)		
Datos		
Volumen del matraz	450	ml
Peso del matraz	303.23	gr
Matraz+Agua+Material	810.61	gr
Peso Seco	231.29	gr
Peso Humedo	235.11	cm3
Formula		
$D_s = \frac{W_{af}}{Vol - (W_{fras+suelo} - W_f - W_{af})}$		
Resultado	2.35 gr	
Absorción (Grava)		
$W_{ab} = \frac{W_h - W_s}{W_s}$		
Resultado	1.65 gr	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los pesos volumétricos de la grava y arena, así como, su densidad y absorción podemos empezar a diseñar nuestra dosificación.

4.8 Parámetros de diseño

En esta sección se determinarán los datos necesarios, obteniendo la volumetría de los cilindros y de la viga para determinar su peso, así como, el concreto necesario:

Datos obtenidos para la volumetría de los cilindros de concreto			
Descripción		Peso volumétrico del concreto	Formula
Diametro	0.15 m	2400 kg/m ³	$V = \frac{\pi * d^2 * h}{4}$
Altura	0.3 m		

Aplicando las formulas	
Volumen del cilindro	
0.00530145	m ³
Peso del cilindro	
12.72348	kg

Fuente: Elaboración propia

4.9 Dosificación (ACI)

El uso de colillas de cigarrillo como aditivo en la producción de concreto debe cumplir con las normas de construcción y los estándares de calidad establecidos para la aplicación prevista del material. Organizaciones como el American Concrete Institute (ACI) y la American Society for Testing and Materials (ASTM) desempeñan un papel fundamental en la definición de las propiedades, los métodos de prueba y las especificaciones técnicas para el concreto, por lo tanto, para nuestra dosificación es importante señalar que esta investigación seguirá las especificaciones del ACI 211, para alcanzar una resistencia a la compresión de 250 kg/cm² a los 28 días con un revenimiento de 100 mm utilizando un cemento portland ordinario con un peso específico de **3150 kg/ m³**, el tamaño máximo de agregado será de **19 mm**, con una densidad aparente de **1451.74 kg/ m³** y un peso específico de **2500 kg/ m³**. El agregado fino tiene un módulo de finura de **1.99** y un peso específico de **2340 kg/ m³**, los datos anteriores nos lo indico el banco de materiales:

Datos (Condiciones normales sin aire incluido)			
Concreto f'c	250 kg/cm ²	Revenimiento	100 mm

Características de los materiales				
	Cemento (CPO)	Arena (De cantera)	Grava (De cantera triturada)	Agua
P.Específico	3150	2340	2500	1000
P.V.S.S		1384.75	1374.74	
P.V.S.C		1559.46	1451.74	
M.F.		1.99		
Absorción		1.65	0.3	
T.M.A			19	

Fuente: Elaboración propia

Para estimar el contenido de agua y contenido de aire a partir de la tabla 14.5:

Tabla 14.5 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños nominales máximos de agregados dados en el ACI 211.1-91 ^{14,5}								
Revenimiento, mm	Agua, kg/m ³ de concreto para tamaños máximos de agregado nominales indicados							
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	19	178	160	–
Cantidad de aire atrapado, por ciento	3	2.5	2	1.5	0.1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	18	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	–
Contenido total de aire (por ciento) para:								
Mejoramiento de trabajabilidad	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Cantidad de agua: **205 kg/ m³**

Selección de relación agua/cemento a partir de la tabla 05.ACI 211:

TABLA 05
RELACION AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA

f'c (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Relación Agua/Cemento = 0.62

Determinar contenido de cemento:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.62 \therefore \text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{0.62} = \frac{205}{0.62} = 330.65 \text{ kg/m}^3$$

Determinar contenido de Agregado grueso a partir de la tabla 04.ACI 211:

TABLA 04
PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO

Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino. [b / b_s]

Tamaño máximo nominal del agregado grueso.	2.40	2.60	2.80	3.00
3 / 8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1 / 2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3 / 4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65

Volumen aparente del agregado grueso (P.V.S.C) y secado en horno por volumen unitario de concreto = 0.64

$$\text{Contenido de AG} = \text{Densidad aparente} * \text{volumen aparente} = \frac{1451.74}{m^3} * 0.64$$

$$= 929.11 \text{ kg/m}^3$$

Determinar contenido de Agregado fino:

Material	Peso	Densidad	Vol. (lts)	Volumen
	kg/m3			Absoluto
Agua	205	1	205	0.205 m3
Cemento	330.65	3.1	106.661	0.107 m3
Grava	929.11	2.5	371.644	0.372 m3
Aire			0	0 m3
Total				0.68330529 m3

Fuente: Elaboración propia

Determinamos el volumen del agregado fino (Arena)

$$\text{Volumen de A.F.: } 1 - 0.6833 = 0.3167$$

$$\text{Masa de Agregado fino} = (\text{Volumen A.F.}) * (\text{peso específico}) = 0.3167 * 2340 \text{ kg/m}^3$$

$$= 741.07 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad de material en estado SSS para elaborar 1m3 de concreto:

Material	Peso	Densidad	Vol. (Lts.)	Volumen
	Kg/m3			Absoluto
Agua	205	1	205	0.205 m3
Cemento	330.650	3.1	106.66	0.107 m3
Grava	929.11	2.5	371.64	0.372 m3
Arena	741.066	2.34	316.69	0.317 m3
Aire			0	0.000 m3
Total				1.000 m3

Ajuste de la cantidad de agua

	% absorcion
GRAVA	0.3
ARENA	1.65
cantidad de agua por adicionar	15.015

Peso estimado para elaborar 1 m3 de concreto:

	Kg	Lts	m3	CUBETA
AGUA	220.015	220.01	0.220	11.580
CEMENTO	330.650	106.66	0.107	6.613
GRAVA	929.11	371.64	0.372	19.560
ARENA	741.066	316.69	0.317	16.668
		suma	1.015	

Fuente: Elaboración propia

4.10 Materiales necesarios (Cilindros)

Material	Kg	Volumen + desperdicio (5%)	1 cilindro (kg)	3 cilindros (kg)	12 cilindros (kg)
AGUA	220.015	0.0055	1.50	4.50	18.00
CEMENTO	330.650	0.0055	2.03	6.10	24.40
GRAVA	929.110	0.0055	5.17	15.52	62.08
ARENA	741.066	0.0055	3.98	11.95	47.80

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestran las cantidades necesarias que se necesitan para la elaboración de los 12 cilindros y los ajustes que se realizaron esto debido a la absorción de agua debido a las colillas de cigarro y la relación agua/cemento.

4.11 Determinación del revenimiento

Partiendo de los materiales necesarios que nos arrojó nuestra dosificación para un $f'c$ de 250kg/cm², y el recalcu de algunos materiales como la relación agua/cemento, se pesó cada material para la realización de tres cilindros por día, en las figuras 42,43 y 44 se puede observar que fuimos muy conservadores y precisos al momento del pesaje del material.



Figura 42.- Peso necesario de grava
(3 cilindros)



Figura 43.- Peso necesario de arena
(3 cilindros).



Figura 44.- Peso necesario de
cemento (3 cilindros).

Cada material se agregado de manera controlada, creando una mezcla heterogénea, evitando grumos o la dispersión de los materiales al aire libre o por causa de humedad; En la figura 45 y 46 se observa como los materiales fueron agregados y manipulados, en la parte de **anexos**, se agregaron las demás evidencias.



Figura 45.- Agregado de materiales.



Figura 46.- Agregado de agua necesaria.

Al término del mezclado de nuestros materiales, pasamos al ensayo de revenimiento (también conocido como slump test). Esta prueba es fundamental para evaluar la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco. Esta propiedad influye directamente en la facilidad con que la mezcla puede colocarse, compactarse y acabarse en obra, sin presentar segregación o pérdida de homogeneidad.

El procedimiento consiste en llenar un molde troncocónico metálico, conocido como cono de Abrams, en tres capas iguales, compactando cada una mediante 25 golpes con una varilla metálica. Una vez lleno, el molde se retira verticalmente, permitiendo que la mezcla de concreto se deforme libremente. Se mide la diferencia entre la altura original del molde (30 cm) y la altura final del concreto deformado, lo que se conoce como valor de revenimiento, expresado en centímetros.

Este ensayo proporciona una referencia rápida sobre la fluidez de la mezcla. Valores bajos indican mezclas secas y poco manejables; valores altos, mezclas más fluidas y trabajables, aunque un exceso puede comprometer la resistencia y provocar segregación. La interpretación del revenimiento depende del tipo de estructura, método de colocación y requerimientos del diseño estructural. En esta investigación, se realiza de acuerdo con la norma mexicana **NMX-C-156-ONNCCE**, alineada con la norma internacional **ASTM C143**; Ver figura 47 y 48.



Figura 47.- Agregado de del material al cono.



Figura 48.- Compactación del material en el cono.

Al término del ensayo para obtener nuestro revenimiento, medimos la diferencia entre la altura original del cono (30 cm) y la altura final del concreto después del asentamiento, aplicando las diferencias de alturas para nuestro proyecto de investigación, obtuvimos un revenimiento de 6 cm, por lo que la norma **NMX-C156-ONNCCE 2010**, nos indica que nuestra mezcla se encuentra en estado plástico, por lo que es aceptable. En el apartado de **anexos** se encuentran evidencias de esta prueba.

4.12 Elaboración de probetas cilíndricas

Una vez concluido el ensayo de revenimiento y verificada la trabajabilidad adecuada de la mezcla de concreto, se procedió a la elaboración de las probetas cilíndricas para realizar los ensayos de resistencia a la compresión. Este procedimiento se llevó a cabo conforme a lo establecido en la norma **NMX-C-123-ONNCCE-2012**, que regula la fabricación y curado de especímenes cilíndricos de concreto en condiciones controladas de laboratorio.

Para la elaboración de los cilindros se utilizaron moldes metálicos con dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, previamente limpios y lubricados. La mezcla fue colocada en tres capas, cada una compactada con 25 golpes de una varilla metálica conforme a lo estipulado por la normativa. Posteriormente, se niveló la superficie y se procedió a su curado. En las figuras 49, 50 y 51, se observan los 3 moldes metálicos utilizados para la elaboración de las probetas cilíndricas. Los especímenes serán ensayados a 7, 14 y 28 días, conforme a los criterios establecidos por la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014**, que considera estos intervalos como referencias estándar para evaluar el desarrollo de resistencia a compresión del concreto. En el apartado del **anexo** se observa el resultado final.



Figura 49.- Elaboración y curado (NMX-C-123-ONNCCE-2012).



Figura 50.- Elaboración y curado (NMX-C-123-ONNCCE-2012).



Figura 51.- Elaboración y curado (NMX-C-123-ONNCCE-2012).

De acuerdo a nuestro cronograma de actividades, el primer grupo que consta de 3 probetas de concreto sin aditivo (colillas de cigarro), fueron realizados el lunes 19 de mayo del presente año 2025, por lo tanto, con el propósito de evaluar el comportamiento del concreto ante la incorporación de residuos no convencionales como lo son las colillas de cigarro, se elaboró un segundo, tercer y cuarto grupo de probetas cilíndricas utilizando la misma dosificación base, pero con la adición de colillas de cigarro previamente tratadas del 1%, 2% y 3%.

Este procedimiento tiene como objetivo comparar los resultados mecánicos de resistencia a la compresión entre los especímenes tradicionales y aquellos modificados con dicho residuo.

Las colillas previamente utilizadas, fueron recolectadas, sometidas a un proceso de limpieza con agua, etanol y secado al aire libre, y posteriormente fragmentadas en secciones pequeñas, para facilitar su integración heterogénea en la mezcla; Ver figura 52.



Figura 52.- Calculo y peso necesario para los cilindros de concreto.

Por lo tanto, para los días posteriores martes 20 (incorporación del 1%), miércoles 21 (incorporación del 2%) y jueves 22 (incorporación del 3%) de mayo del presente año 2025.

Las colillas de cigarro se dejaron en saturación con agua destilada antes de su incorporación al concreto, para que estas no interfieran en la relación agua/cemento, previamente ya calculado para nuestra dosificación de 250 kg/cm². En las figuras 53 y 54, después del descimbrado de los cilindros de concreto se almacenaron en el cuarto húmedo, ubicado dentro del laboratorio de tecnología de materiales en la facultad de ingeniería de la BUAP, manteniéndose cubiertos y en condiciones controladas manteniendo y alcanzando una temperatura y una humedad constante durante su procesó de curado, previo a los ensayos de compresión.



Figura 53.- Almacenamiento y control de los cilindros de concreto.

Figura 54.- Curado y medidas de calidad (temperatura y humedad).



4.13 Influencia de las colillas en el peso del concreto

Antes de realizar el ensayo de compresión, cada cilindro fue pesado en una balanza digital de precisión, con el fin de determinar su masa y posteriormente calcular su densidad; Ver figura 55. Este dato permite verificar la uniformidad entre especímenes y detectar posibles defectos en la mezcla. La densidad se calculó dividiendo la masa del cilindro entre su volumen geométrico, obtenido con base en su diámetro y altura previamente medidos.

Se comparó el peso de los cilindros elaborados con mezcla convencional y aquellos con porcentajes variables de colillas de cigarro; En la sección de **anexos** se encuentra la demás evidencia.



Figura 55.- Peso del cilindro sin colillas (NMX-C-123-ONNCCE-2012).

Para obtener la densidad se ocupó la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{Masa(kg)}{Volumen (m^3)}$$

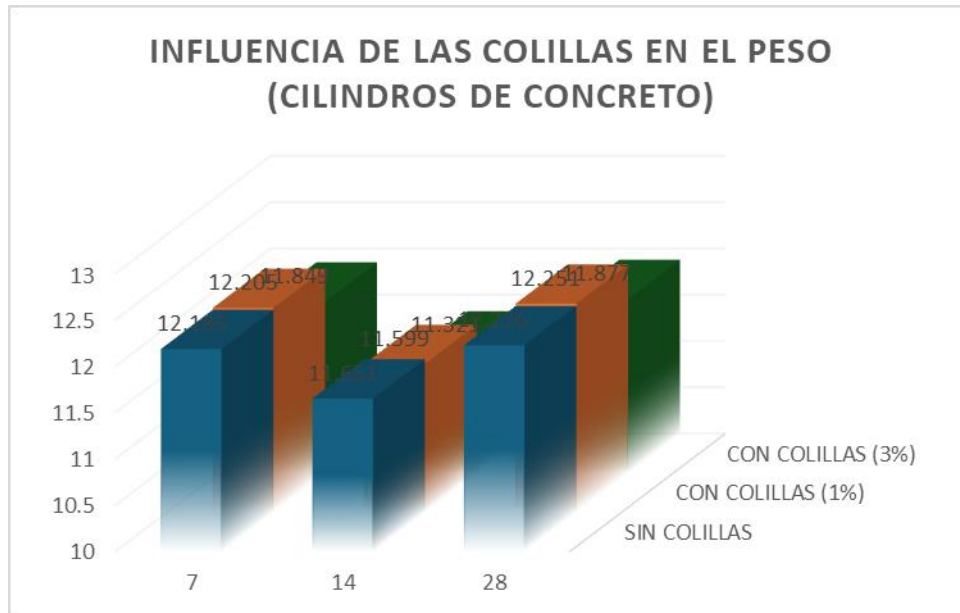
Donde:

Masa: Es el peso obtenido del cilindro.

Volumen: Se calcula con la fórmula del volumen del cilindro ($V= \pi r^2 h$)

OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS CILINDROS						
DESCRIPCIÓN	A 7 DIAS (KG)	A 14 DIAS (KG)	A 28 DIAS (KG)	DENSIDAD A 7 DIAS	DENSIDAD A 14 DIAS	DENSIDAD A 28 DIAS
Cilindro sin colillas	12.185	11.651	12.226	2299.06	2198.30	2306.79
Cilindro con colillas (1%)	12.205	11.599	12.251	2302.83	2188.49	2311.51
Cilindro con colillas (3%)	11.849	11.321	11.877	2235.66	2136.04	2240.94

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

4.14 Resultados experimentales

De acuerdo a los resultados obtenidos, demuestran que es viable incorporar colillas de cigarro en la mezcla de concreto sin afectar significativamente su densidad.

Las probetas fabricadas con 1% y 3% de colillas mostraron densidades comprendidas entre 2,135 y 2,311 kg/m³, valores que se encuentran dentro del rango típico para concretos convencionales o de uso no estructural.

La disminución observada en la densidad, especialmente con el 3% de colillas, evidencia el potencial de este residuo como material aligerante. Esta propiedad podría ser útil en aplicaciones no estructurales donde se busque reducir peso propio sin comprometer completamente la resistencia. Además, esta propuesta representa una alternativa sustentable que contribuye a la gestión responsable de residuos urbanos, permitiendo reutilizar un desecho altamente contaminante como lo son las colillas de cigarro.

4.15 Cabeceo

Para garantizar una distribución uniforme de la carga durante los ensayos de compresión, los extremos de los cilindros de concreto fueron preparados mediante el procedimiento de cabeceo con azufre, conforme a lo establecido en la norma NMX-C-123-ONNCCE-2012 y la ASTM C617.

El cabeceo consistió en aplicar una mezcla fundida de azufre con arena de sílice (relación aproximada 1:2) sobre ambos extremos del cilindro, con el fin de obtener superficies lisas, planas y perpendiculares al eje longitudinal de la probeta. Este procedimiento se realizó utilizando moldes metálicos circulares, vertiendo cuidadosamente el azufre fundido a una temperatura aproximada de 200–350 °C, asegurando que la capa de azufre tuviera un espesor de entre 3 y 6 mm. Una vez vertido, se permitió el enfriamiento natural del azufre hasta alcanzar temperatura ambiente, antes de proceder con el ensayo de compresión. Este proceso permitió corregir irregularidades en los extremos de los cilindros, evitando concentraciones de esfuerzo y mejorando la precisión de los resultados obtenidos en el laboratorio; Ver figura 56 y 57, en donde se muestra el método de preparación y el resultado final.



Figura 56.- Preparación y cabeceo (NMX-C-123-ONNCCE-2012).



Figura 57.- Resultado final del cabeceo (NMX-C-123-ONNCCE-2012).

4.16 Ensayo a compresión

El ensayo de compresión se llevó a cabo de acuerdo con lo establecido en la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014**, utilizando una máquina de compresión hidráulica calibrada. Cada cilindro fue colocado de manera centrada en la prensa, aplicando una carga axial de manera uniforme hasta alcanzar el colapso.

Los ensayos se realizaron a distintas edades (7, 14 y 28 días) con el objetivo de observar la evolución de la resistencia del concreto en el tiempo. Se espera que el concreto convencional (sin colillas de cigarro), alcance aproximadamente un 65% a 70% de su resistencia a los 7 días, un 85% a 90% a los 14 días, y el 100% a los 28 días, bajo condiciones normales de curado.

Estos porcentajes sirven como referencia para evaluar el desarrollo progresivo de la resistencia mecánica del concreto. En el presente estudio, estas proporciones fueron utilizadas como parámetro comparativo para analizar el desempeño del concreto modificado con adición de colillas de cigarro tratadas, observando si dicho residuo influye positiva o negativamente en la ganancia de resistencia a edades tempranas y a la edad estándar de 28 días. Durante el procedimiento, se registró la carga máxima soportada por cada espécimen al momento de su falla, como se puede observar en la figura 58.



Figura 58.- Primer cilindro colocado en la prensa de compresión (NMX-C-083-ONNCCE-2014).

Los resultados obtenidos del ensayo de compresión se expresaron en toneladas, calculando la resistencia a partir de la fórmula:

$$f'c = \frac{C}{A}$$

Donde:

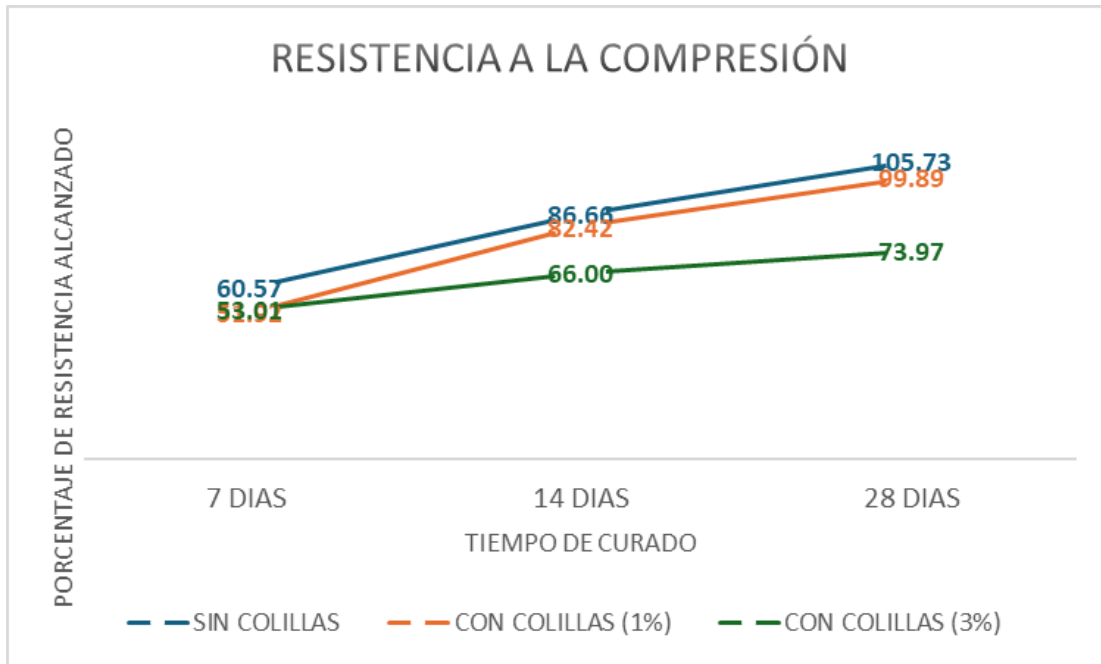
f'c: resistencia a compresión del concreto (MPa) ó (Kg/cm²)

C: carga máxima aplicada (N) ó (kg)

A: área de la sección transversal del cilindro (cm²)

RESULTADOS EXPERIMENTALES			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
DESCRIPCIÓN	A 7 DIAS (KG)	A 14 DIAS (KG)	A 28 DIAS (KG)
Cilindro sin colillas	26758	38284	46710
Cilindro con colillas (1%)	22938	36410	44130
Cilindro con colillas (3%)	23420	29159	32678
FORMULAS			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		ÁREA (SECCIÓN TRANSVERSAL)	
$f'c = \frac{C}{A}$		$A = \frac{\pi d^2}{4}$	176.72
PORCENTAJES OBTENIDOS (%)			
DESCRIPCIÓN	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
Cilindro sin colillas	60.57	86.66	105.73
Cilindro con colillas (1%)	51.92	82.42	99.89
Cilindro con colillas (3%)	53.01	66.00	73.97

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

4.17 Resultados experimentales

En comparación con el concreto convencional, el espécimen que contenían un 1% de colillas presento un comportamiento aceptable, alcanzando hasta el 99% de la resistencia de diseño a los 28 días, lo cual sugiere que una pequeña dosificación de este residuo no compromete significativamente el desempeño estructural del material. Sin embargo, al incrementar la proporción de colillas al 3%, la resistencia se redujo considerablemente, alcanzando únicamente un 73.97% del valor esperado, lo cual representa una disminución notable en su capacidad de carga.

Estos resultados reflejan la importancia de establecer límites en la incorporación de materiales reciclados, priorizando siempre el equilibrio entre sostenibilidad y desempeño estructural. Así, se concluye que es posible reutilizar colillas de cigarro en porcentajes controlados, siempre y cuando se garantice que el concreto resultante cumpla con los requerimientos mínimos de resistencia establecidos por la normativa vigente. En términos de resistencia a compresión, se comprobó que el aumento en el porcentaje de colillas genera una reducción progresiva en la

capacidad portante del concreto, particularmente cuando se alcanza un 3% de incorporación, lo cual limita su uso en elementos estructurales críticos.

Un aspecto relevante observado durante esta investigación fue el impacto de la adición de colillas de cigarro en la ductilidad del concreto y en su modo de falla. Como se aprecia en los especímenes ensayados; Ver figura 59, 60 y 61.



Figura 59.- Modo de falla
(Cilindro son colillas).



Figura 60.- Modo de falla
(Cilindro son colillas al 1%).



Figura 61.- Modo de falla
(Cilindro son colillas al 3%).

Los cilindros elaborados con colillas mostraron un patrón de falla distinto al convencional: fisuras verticales amplias, desprendimientos parciales de material y una fragmentación más localizada, en contraste con el comportamiento típico del concreto sin adiciones, que tiende a fracturarse en múltiples fragmentos de manera frágil y súbita. Este patrón sugiere una posible mejora en la ductilidad del material, es decir, una mayor capacidad del concreto para deformarse antes de llegar a la falla completa. Este comportamiento podría estar relacionado con la naturaleza fibrosa del acetato de celulosa presente en las colillas que, al integrarse al concreto, actúa como un refuerzo disperso, ayudando a controlar la propagación de grietas.

Adicionalmente, el concreto con colillas podría presentar una mayor resistencia a cargas de impacto o a condiciones de fisuración por retracción, aunque estas propiedades deben evaluarse con ensayos específicos. Es importante resaltar que este incremento en la ductilidad no implica necesariamente una mejora en la resistencia a compresión, la cual sí mostró una tendencia a disminuir con el aumento del porcentaje de colillas, como se evidenció en los resultados experimentales.

En conclusión, los resultados sugieren que la reutilización de colillas de cigarro podría ser viable para aplicaciones específicas, especialmente en elementos no estructurales o prefabricados, donde se requiera mayor ductilidad, comportamiento controlado ante fractura, o se busque reducir el impacto ambiental mediante la integración de residuos urbanos en materiales de construcción.

4.18 Conclusiones

La presente investigación demostró que la incorporación de colillas de cigarro tratadas en el concreto, puede ofrecer beneficios en términos ambientales. Al reutilizar un residuo altamente contaminante, no biodegradable y de alta presencia urbana. Desde una perspectiva técnica, los ensayos a compresión mostraron que un contenido moderado de colillas (1%) permite mantener una resistencia mecánica cercana a la del concreto convencional, alcanzando hasta el 99% de la resistencia de diseño a los 28 días.

Este resultado sugiere que es posible utilizar este tipo de residuo en mezclas de concreto sin afectar gravemente el desempeño estructural, siempre y cuando se respeten proporciones adecuadas. Asimismo, durante el proceso experimental se observó que los especímenes con colillas presentaron un ligero incremento en la ductilidad, manifestado en una disminución de agrietamiento prematuro y una mayor capacidad de deformación antes de la falla frágil, lo cual podría ser atribuido a la presencia fibrosa del acetato de celulosa en la mezcla. Sin embargo, este comportamiento requiere estudios más específicos bajo ensayos de flexión y tracción para confirmar dicha mejora en términos estructurales.

A pesar de los beneficios ambientales y algunas ventajas técnicas observadas, se concluye que el uso de colillas en concreto no es recomendable para elementos estructurales primarios, como columnas, vigas de carga o losas principales, debido a la variabilidad y reducción en la resistencia observada al incrementar el porcentaje del residuo. No obstante, sí se recomienda su aplicación en elementos no estructurales, tales como bloques de concreto, banquetas, guarniciones, muros divisorios, mobiliario urbano o prefabricados con fines ornamentales, donde la exigencia mecánica sea menor pero el impacto ambiental de su fabricación siga siendo relevante.

4.19 Recomendaciones y observaciones

Dado a los resultados obtenidos en esta investigación, en donde se centró principalmente en la resistencia a la compresión del concreto con adición de colillas de cigarro, se recomienda como línea de estudio futura realizar una evaluación más amplia de sus propiedades mecánicas y estructurales, en especial en lo referente a:

- La resistencia a la flexión, con el fin de determinar si la incorporación de colillas contribuye a mejorar el comportamiento del concreto ante esfuerzos de tracción indirecta, lo cual es clave para elementos sometidos a cargas laterales o flexo-compresión.
- La ductilidad del material, mediante ensayos que midan la capacidad de deformación post-elástica, fisuración controlada o la energía absorbida antes de la falla, ya que preliminarmente se observó una reducción del agrietamiento prematuro en algunas muestras.
-
- El análisis de otras proporciones de colillas, tanto menores como intermedias (ej. 0.5%, 2%, 2.5%), para identificar un rango óptimo en el que se pueda maximizar el aprovechamiento del residuo sin comprometer las propiedades esenciales del concreto.

También se recomienda realizar una evaluación detallada de la trabajabilidad del concreto fresco modificado con colillas de cigarro, dado que esta propiedad influye directamente en la facilidad de mezclado, colocación, compactación y acabado del concreto. Aunque algunos estudios previos han reportado que la incorporación de colillas no altera significativamente la manejabilidad de la mezcla, en esta investigación se observó una situación particular: al verter la mezcla por capas dentro del molde cilíndrico, algunos especímenes fallaron estructuralmente antes de ser sometidos a la prueba de compresión, desintegrándose o separándose internamente sin aplicar carga alguna. Este fenómeno podría atribuirse a la alta capacidad de absorción de agua de las colillas, lo cual provoca una

descompensación en la relación agua-cemento local dentro de la mezcla, afectando la cohesión del concreto en ciertas zonas. En algunos casos, la mezcla presentaba una textura fibrosa similar al algodón, evidenciando una pérdida de integridad y homogeneidad del material; Ver figura 62 y 63 en donde los cilindros al 2% ya no se presentaron resultados en esta investigación debido a su alteración.



Figura 62.- Especímenes al 2% de colillas alterados.



Figura 63.- Especímenes al 2% de colillas alterados.

Por tanto, se destaca la importancia de pretratar o saturar previamente las colillas antes de su incorporación, con el fin de reducir su absorción inmediata de agua y evitar alteraciones en la mezcla.

4.19.1 Proveedores

Para asegurar la viabilidad técnica y ambiental del uso de colillas de cigarro como aditivo parcial en mezclas de concreto, resulta fundamental contar con proveedores responsables y certificados, como es el caso de la Fundación Madre Hiedra, una organización que trabaja en alianza con diversas tabacaleras en México para la recolección sistemática, clasificación y procesamiento de colillas.

La existencia de este tipo de entidades permite establecer una cadena de suministro controlada y trazable, en la que se garantiza que el residuo recolectado ha sido sometido a un proceso mínimo de selección, secado, neutralización de olores y empaquetado, lo cual contribuye a la homogeneidad del material, disminuyendo las variaciones en el comportamiento mecánico del concreto.

Por otro lado, se recomienda que las colillas destinadas a este tipo de uso técnico cuenten con una clasificación por tipo de filtro, nivel de contaminación y humedad, además de parámetros básicos de control de calidad como se puede observar en la siguiente tabla:

Parámetro	Unidad	Límite o Requisito Técnico	Justificación
Estado del filtro	Cualitativo	Filtros secos, íntegros y sin exceso de tabaco	Permite mejor incorporación y reduce el riesgo de descomposición orgánica.
Clasificación por tipo	Tipo de filtro	Filtros de acetato de celulosa sin aditivos plásticos	Asegura compatibilidad con el concreto.
Presencia de contaminantes	Visual	Ausencia de metales, plásticos duros o residuos ajenos	Evita inclusiones no deseadas que puedan debilitar el concreto.
Tratamiento previo (opcional)	Proceso	Lavado o neutralización simple (agua destilada y etanol)	Reduce carga química y mejora el comportamiento mecánico del material.
Olor residual	Sensorial	Bajo o nulo	Indicativo de tratamiento adecuado y menor riesgo de compuestos volátiles.
Almacenamiento	Condición	Seco, limpio, sin contacto con humedad o agentes corrosivos	Mantiene la calidad del residuo antes de su uso.

Fuente: Elaboración propia con base en observaciones experimentales y principios de control de calidad de materiales reciclados.

Establecer estándares técnicos mínimos para el residuo, ayudaría a regular su incorporación en mezclas de concreto de forma similar a como se controlan los agregados reciclados o aditivos minerales. Finalmente, este enfoque también abre la posibilidad de desarrollar normativas futuras o lineamientos técnicos que respalden el uso de residuos urbanos no convencionales en la industria de la construcción bajo principios de economía circular, en donde se podría ir implementando gradualmente en elementos **no estructurales**, avanzando hacia usos más exigentes a medida que se obtengan más datos y se desarrollen mejores prácticas, parece un enfoque prudente.

4.19.2 Costos

Por último, sería altamente beneficioso incorporar un análisis de costos para determinar su viabilidad a gran escala, evaluando el impacto real de sustituir ciertos volúmenes de materiales convencionales por residuos como las colillas, dentro del enfoque de economía circular y sostenibilidad en la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Ana, D. F., Michele, G., & Lucia, S. (22 de Octubre de 2020). UN PROCESO LIMPIO PARA OBTENER ACETATO DE CELULOSA DE ALTA CALIDAD A PARTIR DE COLILLAS DE CIGARRILLOS. <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/21/4710>
- Cecilia, C. (Abril de 2008). Aprovechamiento de los residuos de la construcción para superficies de rodamiento. *IPN*.
- Drope, J., Schluger, N., & Cahn, Z. (2018). Atlas del tabaco. *Sociedad Estadounidense del Cáncer, Inc., 2018*. www.tabacoatlas.org
- El Proyecto Terramar. (10 de Enero de 2020). *Análisis de la contaminación por colillas de cigarrillos*. <https://theterramarproject.org/lander>
- Friend, K. &. (2002). Reductions in smoking prevalence and cigarette consumption associated with mass-media campaigns. *Health education research*. págs. 85-98.
- International., E. (29 de Noviembre de 2018). Tabaco a nivel mundial: conclusiones. *Panorama general del tabaco, cigarrillos y el futuro*. <https://www.euromonitor.com/global-tobacco-key-findings-part-1-tobacco-overview-cigarettes-and-the-future/report>
- Leopoldo, B. (2016). *Encuesta Nacional de consumo de drogas, alcohol y tabaco*.
- Mohajerani, A. (2020). The toxicity and valorization options of cigarette butts. págs. 104-118. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20300118>
- Ng, M., Freeman, M., Fleming, T., Robinson, M., Dwyer-Lindgren, L., Thomson, B., . . . Lopez, A. (2014). Prevalencia de tabaquismo y consumo de cigarrillos en 187 países, 1980-2012. *Prevalencia mundial de tabaquismo y consumo de cigarrillos* *Prevalencia mundial de tabaquismo y consumo de cigarrillos.*, págs. 183-192.
- OMS. (2018). Informe mundial de la OMS sobre las tendencias de la prevalencia del tabaquismo 2000-2025. *Organización Mundial de la Salud: Ginebra, Suiza*.
- Roser, M., & Ritchie, H. (2020). Fumar . *Fumar* . <https://ourworldindata.org/smoking>

- SEUR. (s.f.). Deja de fumar con el cigarrillo electrónico de Fumandoyahorrando. <https://blog.seur.com/deja-de-fumar-con-el-cigarrillo-electronico-de-fumandoyahorrando/>
- Soleimani, F. D.-I.-T. (20 de Marzo de 2022). Content of toxic components of cigarette, cigarette smoke vs cigarette butts. *Science of the Total Environment*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721077457>
- Truth Initiative. (10 de Enero de 2020). *Cinco maneras en que los desechos de cigarrillos afectan al medio ambiente*. <https://truthinitiative.org/news/5-ways-cigarette-litter-impacts-environment>
- Zafeiridou, M., Hopkinson, N., & Voulvoulis, N. (2018). Fumar cigarrillos: una evaluación de la huella ambiental global del tabaco en toda su cadena de suministro. *Environ. Sci. Technol* , págs. 8087-8094.

ANEXOS

GRANULOMETRÍA Y EL MUESTREO DE LA ARENA



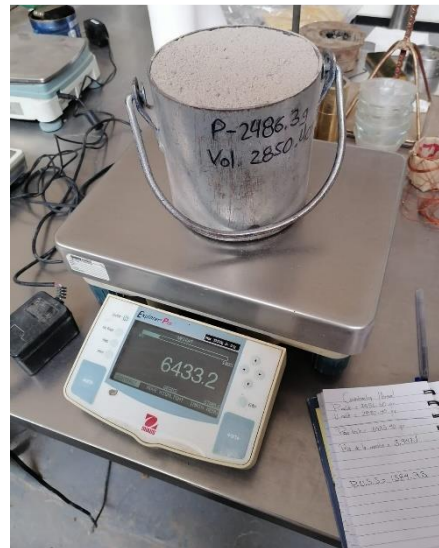
Prueba de materiales (Arena).



Cuarteo de la arena.



Pesos volumétricos de la arena.



Análisis de la arena.



Tamizado de la arena.

MEZCLADO DE MATERIALES



Mezclado de los materiales



Mezclado de los materiales

ENSAYO DE REVENIMIENTO (SLUMP TEST)



Introducción del concreto al cono.



Compactación del concreto.



Conteo regresivo para extracción del cono.



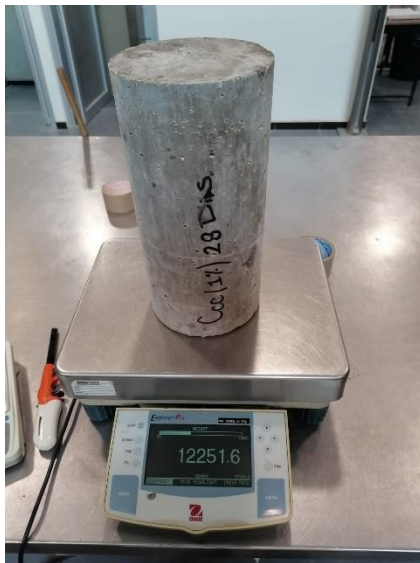
Cálculo del revenimiento.

RESULTADO DEL DESCIMBRADO DE LOS CILINDROS DE CONCRETO

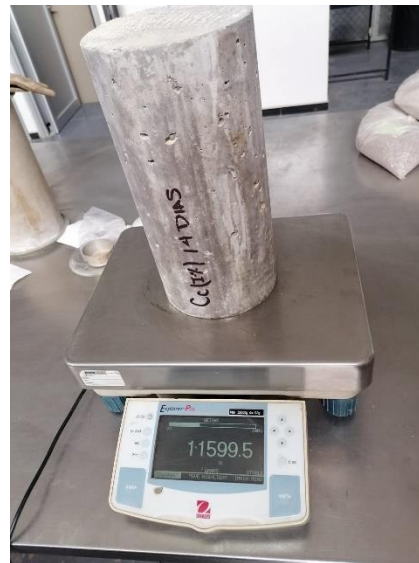


Descimbrado de los ensayos.

INFLUENCIA DE LAS COLILLAS EN EL PESO DEL CONCRETO



Peso del cilindro para calcular su densidad.



Peso del cilindro para calcular su densidad.