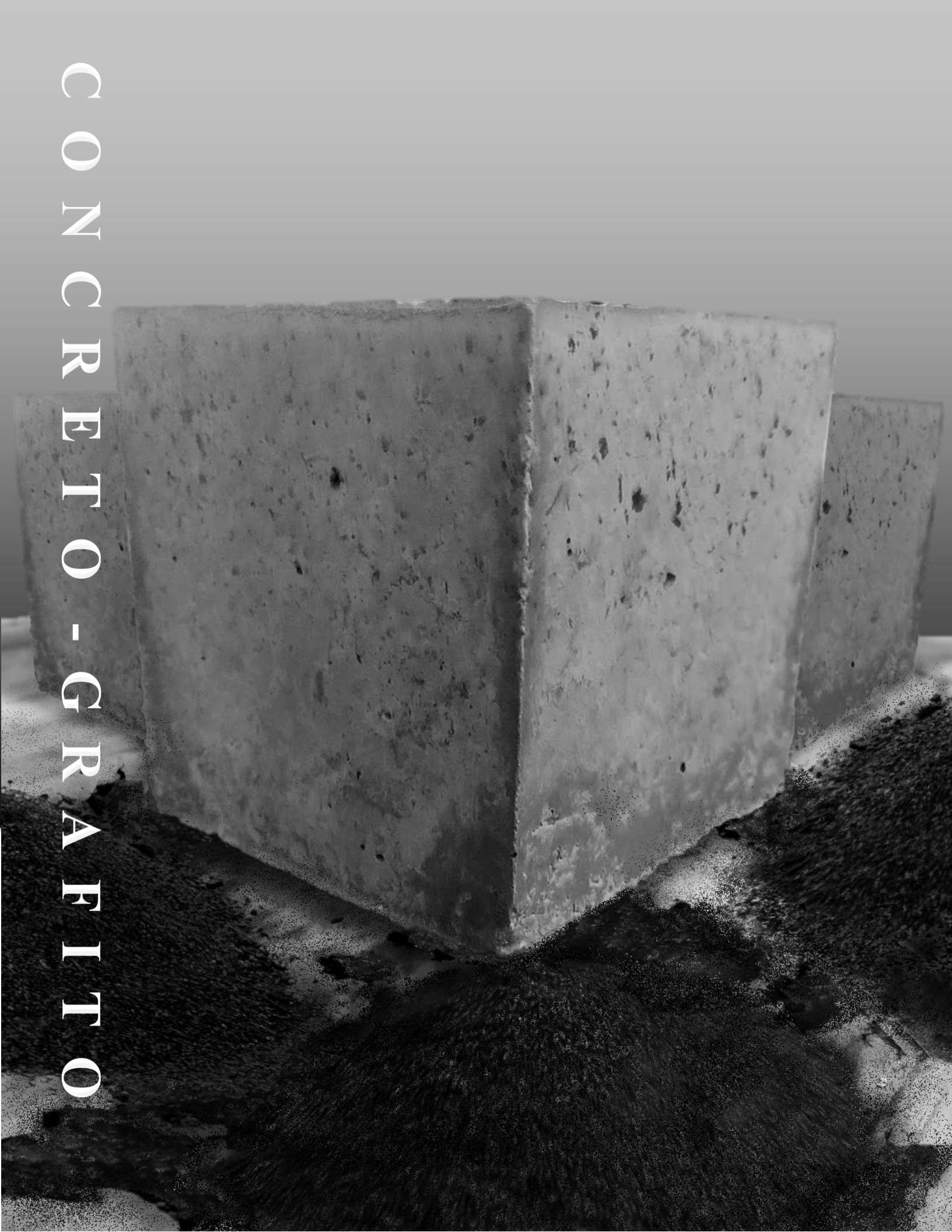


CONCRETO - GRAFITO





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

TESIS DE LICENCIATURA

APLICACIÓN DEL GRAFITO EN LA ARQUITECTURA MEDIANTE EL
CONCRETO

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE ARQUITECTAS PRESENTAN:

REBECA LANDIN MIRANDA

REBECA REBOLLO OSORIO

A S E S O R E S:

MTRA. EN ING. PERLA RAFAEL SANTA ANA LOZADA

LUIS FERNANDO SOLÍS ÁVILA

HONORATO CARRASCO MAHR

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX. FEBRERO, 2023

PREFACIO

La importancia de la investigación en materiales aplicados a la arquitectura radica en destinar los materiales en espacios y/o sistemas constructivos, para los cuales éstos alcancen la eficiencia, de acuerdo a las necesidades que pueden satisfacer a cada proyecto.

Este escrito aplica dicho manifiesto e incorpora un porcentaje de grafito a una mezcla de concreto para estudiar sus propiedades; entre ellas, principalmente la resistencia a la compresión.

Los resultados obtenidos son parte de la colaboración hacia la investigación en el ramo de materiales aplicados en la arquitectura. Sostenemos que este trabajo puede ser parte de las soluciones constructivas, considerando su factibilidad, así como su manufactura que como arquitectos enfrentamos en la obra. Se pretende brindar una alternativa que permita en distintos ramos tener mayor eficiencia y continuar con el desarrollo de los materiales empleados en la arquitectura.

INTRODUCCIÓN

Históricamente el ser humano ha tomado de su entorno materiales que lo asistan para garantizar su supervivencia. El desarrollo y la evolución de las sociedades han estado relacionados con la capacidad de conformar materiales que les permitan cubrir sus necesidades básicas y facilitar sus actividades cotidianas. Estos elementos denominados materiales se han transformado en herramientas, mobiliario, estructuras y construcciones de acuerdo a diversas prácticas sociales, culturales, históricas y estilos de vida.

El desarrollo de estos artefactos y sus procesos de manufactura se han sofisticado mediante el desarrollo tecnológico, la ciencia e ingeniería de materiales. En la actualidad eso nos permite tener acceso a mayor variedad de materiales con propiedades superiores a los existentes en la naturaleza y nuevos usos de los mismos (Callister,1995).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Observar y analizar el comportamiento del material compuesto de un porcentaje de grafito y concreto para reconocer sus propiedades.

OBJETIVOS PARTICULARES

- **Evaluar** los efectos que produce el 1% de grafito en el concreto mediante pruebas realizadas a compresión.
- **Reconocer** las características del material compuesto *concreto - grafito* de acuerdo a los estudios realizados de resistencia a la compresión, microscopía y permeabilidad.
- **Indagar** en la aplicación que pueda satisfacer el material compuesto, hacia la arquitectura, de acuerdo a la NTC de la Ciudad de México.

HIPÓTESIS

El uso de grafito en el concreto mejorará su resistencia a la compresión, por su alta capacidad de deformarse antes de la rotura, haciéndolo más resistente a los esfuerzos de compresión. Así como atribuir a la impermeabilidad del agua en el concreto endurecido, por la capacidad que tiene de repeler el agua y la dispersión de partículas de grafito presentes en la mezcla.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Rebeca Rebollo Osorio

A mi alma mater la *Universidad Nacional Autónoma de México* por iniciarme en la etapa profesional y abrirme las puertas a nuevos saberes, que en conjunto a cada uno de sus catedráticos aportaron a lo largo de mi carrera, su paciencia, sus pasiones, su guía, enseñanzas y motivación para que el día de hoy yo sea una entusiasta arquitecta comprometida con su ocupación y su sociedad.

A el *Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México sede centro del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS)-CONACYT*, dirigido por el *Dr. Alberto Muciño Vélez*, sede de la realización de mi servicio social, en la cual despertó mi interés en la ciencia de los materiales y la indagación de este tema de tesis. Gracias por abrirme las puertas a sus instalaciones y equipos para hacer posible el experimento y a sus académicos (*Dr. Alberto Muciño Vélez, Mtro. Antonio Tahuiton Mora y Dr. César Armando Guillén Guillén*) por ser parte de mi proceso formativo en la investigación, por su guía y acompañamiento en esta transición académica - profesional.

A mi asesora *Mtra. en Ingeniería Perla Rafael Santa Ana Lozada* corresponsable del *Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE)* de la *Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México sede centro del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS)-CONACYT* por arriesgarse a asesorar y guiar un tema de innovación, de constante indagación y aprendizaje. Gracias por su paciencia, instrucción y su compromiso a lo largo de la realización de esta tesis de licenciatura.

Al *Mtro. en Arquitectura Antonio Tahuiton Mora*, técnico académico del *Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales (LMSE)* de la *Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México sede centro del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables (LNVCS)-CONACYT* por sus enseñanzas prácticas en el manejo de equipos, materiales y herramientas especializados para la experimentación en compresión de concreto, así como en sus saberes técnicos en la interpretación de datos y análisis estadísticos.

A mis sinodales los arquitectos *Honorato Carrasco Marh* y *Luis Fernando Solís Ávila* por atreverse a instruir y facilitar el proceso académico para la realización de este tema de innovación.

A el *Arq. Manuel Garduño* por su guía y asesoramiento en la indignación de fuentes, definición y delimitación del tema para dicha tesis.

A la Arq. *Ana María Chávez Max Cárdenas* † por sus consejos de vida, instrucción y guía, así como por abrirme paso al mundo de las estructuras y los materiales.

A el Arq. *Ulises Cuauhtémoc Josué Zepeda Pérez* † por su paciencia, vocación, pasión y saberes, gracias por ilustrarme en el mundo de la construcción y el diseño gráfico.

A el Arq. *Pedro Urzúa Ramírez* por compartirme su pasión y sus saberes en construcción e instalaciones.

A mi compañera tesista *Rebeca Landín Miranda* por aventurarse conmigo en una parte del mundo de la investigación del concreto adicionado y por no darse por vencida en la elaboración de este trabajo, por su tiempo, enseñanzas y compromiso.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Rebeca Landin Miranda

A mi familia le agradezco el interminable apoyo brindado y la ilusión con la que me han acompañado por todo este camino.

A mis padres, por todo el esfuerzo y amor puesto en mí, gracias por estar a mi lado cada día, todos mis logros son suyos.

A mi compañero y mejor amigo, te agradezco todo el cariño y las enseñanzas, gracias por tu compañía durante estos años, lo logramos juntos.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES**Rebeca Rebollo Osorio**

A Dios por la oportunidad de vivir la vida, le agradezco el favor de tener a mi valiosa familia unida y fortalecida, que a través de ellos soy lo que soy hoy.

A mis abuelos *María del Socorro Flores Núñez* † y *José Luis Rebollo Romero* †, por su amor y apoyo incondicional, que me enseñaron perseverancia y resiliencia a los cambios bruscos de la vida, por enseñarme constancia a pesar de las dificultades y pesares de la salud, por abrirme la curiosidad a lo desconocido y por regalarme la pasión a los antecedentes de mi carrera; al amor y sacrificio por los que más atesoras. No me alcanza mi vida para agradecer todo lo que hicieron por mí desde que estaba en el vientre de mi madre.

A mis padres *Jazmín del Rocío Osorio Rivera* y *Mario Rebollo Flores*, por su guía, gran apoyo e infinito amor; que me han enseñado a no darme por vencida a pesar de la adversidad, a ser valiente, el valor del sacrificio y la entrega, así como el luchar por mis sueños, las palabras no son suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí, este logro es por ustedes.

A mi abuela *María Concepción Rivera Torres* por su amor y apoyo incondicional, gracias por enseñarme no conformarme y a siempre buscar múltiples soluciones y que atreverse es no tener nada que perder si es por alcanzar mis metas e ideales.

A mi tío *José Luis Rebollo Flores* por enseñarme a eliminar mis dudas, a hablar en público, el valor del trabajo, por impulsarme a emprender y a que el cambio depende de uno mismo.

A mis hermanos *Verónica Rebollo Osorio* y *Mario Gustavo Rebollo Osorio*, por ser ejemplo, por su acompañamiento en mis momentos más difíciles, por sus consejos y motivo para seguir adelante.

A mi pareja *Alexis Fernando Oliveroz Osorio* por su compañía, amor incondicional, paciencia y comprensión, gracias por enseñarme constancia y voluntad para alcanzar mis objetivos, por hacer a un lado mis miedos y enfrentarme a los retos de la vida.

A mis seres que me han acompañado siempre, gracias por la bendición de tenerlos en mi vida.

Finalmente le agradezco al lector por permitir que este conocimiento a través de él sea difundido y sea parte de su erudición.

DEDICATORIA

Rebeca Rebollo Osorio

A Dios por impulsar mi vida y mis sueños a través de todos mis seres queridos.

A mis abuelos María del Socorro Flores Núñez † y José Luis Rebollo Romero † por siempre creer en mí y todo su amor y apoyo incondicional.

A mis padres *Jazmín del Rocío Osorio Rivera* y *Mario Rebollo Flores* porque no existen límites para amar y ustedes me lo han demostrado, por no perder nunca la fe en mí, por proteger y velar por mí.

A mi abuela *María Concepción Rivera Torres* por su amor, apoyo incondicional, consejo, por escucharme y estar en mis momentos más complicados.

A mi tío *José Luis Rebollo Flores* por enseñarme a impulsarme profesionalmente y saber explotar mis habilidades.

A mis hermanos *Verónica Rebollo Osorio* y *Mario Gustavo Rebollo Osorio* por su compañía, amor, amparo y por ayudarme a no darme por vencida.

A mi pareja *Alexis Fernando Oliveroz Osorio* por su amor y su amistad incondicional, por sus ánimos, comprensión y apoyo en la adversidad.

A mis seres que siempre me acompañan en mis desvelos y me brindan su amor incondicional.

A mi asesora de tesis, *Mtra. en Ing. Perla Rafael Santa Ana Lozada* por su apoyo, guía e instrucción, para la realización de esta tesis.

A todas las generaciones futuras de arquitectos que les interese la investigación para seguir contribuyendo a fomentar tecnologías nuevas, hacia una arquitectura en pro del medio y más humana.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO	I
INTRODUCCIÓN	II
OBJETIVOS	III
OBJETIVO GENERAL.....	III
OBJETIVOS PARTICULARES.....	III
HIPÓTESIS	IV
AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS	V
AGRADECIMIENTOS PERSONALES	VIII
DEDICATORIA	XI
CAPÍTULO 1.- MATERIALES	2
CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES	2
<i>POR ORIGEN</i>	3
<i>ESTADO DE AGREGACIÓN DE LA MATERIA</i>	4
<i>COMPOSICIÓN</i>	4
<i>SEGÚN EL ENLACE</i>	6
<i>MEZCLAS</i>	7
<i>POR MANUFACTURA</i>	8
CLASIFICACIÓN MATERIALES POR MANUFACTURA	9
METALES	9

POLÍMEROS	10
CERÁMICOS	12
<i>CLASIFICACIÓN DE LOS CERÁMICOS</i>	13
<i>CERÁMICOS AVANZADOS</i>	13
MATERIALES COMPUESTOS	15
.....	16
COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS	17
MATRIZ	17
MATERIAL DE REFUERZO	17
INTERFASE	18
CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.....	19
POR NATURALEZA DE LA MATRIZ.....	19
DE ACUERDO AL REFUERZO.....	20
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	21
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS	21
PROPIEDADES QUÍMICAS	22
PROPIEDADES FÍSICAS	22
PROPIEDADES MECÁNICAS.....	23
PROPIEDADES DE LOS CERÁMICOS.....	25

PROPIEDADES FÍSICAS	25
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES CERÁMICOS	25
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS	27
PROPIEDADES MECÁNICAS.....	27
CAPÍTULO 2.- GRAFITO	29
GRAFITO	30
PROPIEDADES DEL GRAFITO.....	32
TIPOS DE GRAFITO.....	32
<i>Grafito natural</i>	32
<i>Grafito sintético</i>	33
ESTRUCTURA DEL GRAFITO.....	35
APLICACIONES DEL GRAFITO	36
GRAFITO	38
GRAFITO DISUELTO EN AGUA	39
GRAFITO EN PASTAS CEMENTANTES.....	39
CAPÍTULO 3.-GRAFITO- CONCRETO	42
CEMENTO	42
CEMENTO PORTLAND.....	43
PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND TRADICIONAL	46

FRAGUADO	47
TIPOS DE CEMENTO PORTLAND	48
PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO PORTLAND.....	49
PRUEBAS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO	49
CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO	51
CONCRETO.....	54
AGUA	55
AGREGADOS.....	57
TRABAJABILIDAD.....	61
ADITIVOS DEL CONCRETO	62
CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS	63
CAPÍTULO 4.- EXPERIMENTACIÓN	67
CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO.....	67
GRANULOMETRÍA.....	67
<i>PESO VOLUMÉTRICO DE LA ARENA Y LA GRAVA.....</i>	<i>72</i>
CONCRETO SIMPLE.....	75
CONCRETO MODIFICADO CON GRAFITO	82
<i>ENSAYOS DE LABORATORIO.....</i>	<i>84</i>
<i>PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....</i>	<i>86</i>

MÉTODO EXPERIMENTAL.....	89
<i>MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS.....</i>	<i>94</i>
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	99
<i>GRÁFICAS ESFUERZO- DEFORMACIÓN.....</i>	<i>107</i>
<i>OBTENCIÓN.....</i>	<i>107</i>
<i>PRUEBAS DE MICROSCOPÍA.....</i>	<i>109</i>
<i>PERMEABILIDAD.....</i>	<i>110</i>
CONCLUSIONES.....	113
<i>APLICACIONES.....</i>	<i>115</i>
<i>ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO.....</i>	<i>116</i>
ANEXOS.....	119
PROTOCOLO.....	120
GRÁFICOS ESFUERZO DEFORMACIÓN.....	141
NOTAS.....	148
REFERENCIAS.....	151
ÍNDICE DE TABLAS.....	158
ÍNDICE DE FIGURAS.....	160
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	161
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	162

MATERIALES

Nota: Madera, piedra, conchas y arcillas. Fuente: materiales de sencilla adquisición. Adaptado de *primeros materiales*, por Couleur, 2018, Pixabay (<https://pixabay.com/es/photos/>). Pixabay license.



CAPÍTULO 1.- MATERIALES

La conclusión de la arquitectura es resultado de la producción y autoproducción de lo humano, como un ente habitador y una relación simultánea con su entorno físico construido (García Olvera, 2019). Para lograr una producción de lo arquitectónico, es necesario ligar la actividad humana, lo vivo, con lo habitable, tomando en cuenta los aspectos de la materialidad.

Dentro de la disciplina de la arquitectura, la materialidad erige el espacio arquitectónico y hace uso de los materiales. Se aprovechan sus características como lo son: color, textura, transparencia, opacidad y forma. Esto genera vivencias, remembranzas o experiencias, entorno al habitar del espacio, la sensopercepción del espacio o a la aplicación de la técnica (White, S. 2019).

En primera instancia, retomamos el significado etimológico de la palabra “material”; que deriva del latín «materia o materialis» que quiere decir madre, materia, madera. Esto va relacionado con la Era Neolítica (10,000-300 a. C), donde el ser humano en la Prehistoria descubrió elementos disponibles en su entorno, tales como la piedra caliza, las conchas, la arcilla y la madera (**figura 1**). Dichos materiales podían transformarse fácilmente en utensilios, ornamentos y herramientas (Fahlman B.D., 2008).

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

En la actualidad, se define como recurso a todos los elementos disponibles que no han sido alterados y como material a esos elementos que han sido transformados. Dichos materiales se clasifican respecto a distintos métodos de estudio, por mencionar algunos: por su origen,

estado de agregación de la materia, composición, de acuerdo a sus propiedades eléctricas, tipo de orden atómico, según el enlace y por manufactura; que, para efectos de la investigación en esta tesis, la última es la que se ajusta (Viñas & Mancini, 2003).

La primera de ellas es la división de los materiales naturales y artificiales. Los materiales naturales, son simples porque no han sido procesados. Entre ellos los minerales y los materiales artificiales que se conforman empleando materiales naturales (Fahlman, 2008, 2-3). Por ejemplo, el papel es un material que ha tenido un proceso de transformación a través de una primera etapa, que es la extracción de la celulosa por parte de la madera, que posteriormente se trató en agua y tuvo un proceso de secado para llegar a ser papel. Otro ejemplo es el textil de algodón que se obtiene a través de la planta algodón (*gossypium*) hilando este material hasta conformarse en fibras extensas que después se usan para elaborar telas.

POR ORIGEN

Los materiales naturales son aquellos encontrados directamente en el medio ambiente y que previamente no han tenido ninguna alteración para ser elaborados. Son también llamados materias primas (madera, piedras, algodón, lana, carbón, cobre, arena, petróleo).

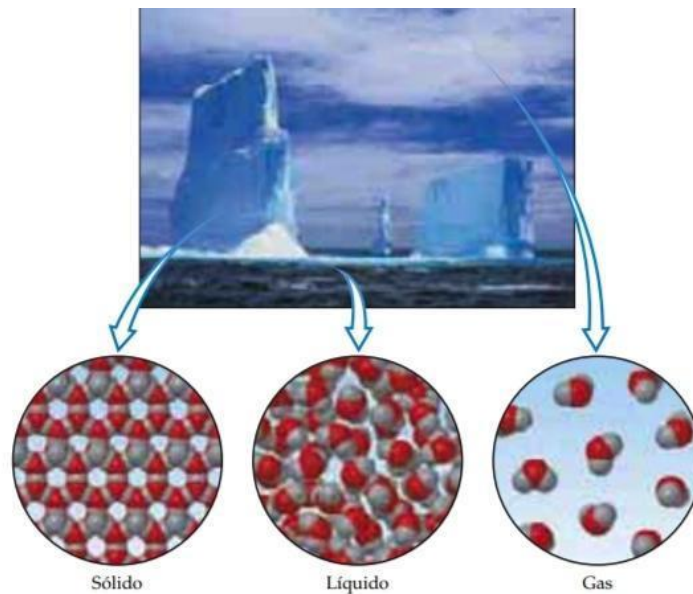
Los materiales artificiales son elaborados por los seres humanos. Derivan de los materiales naturales. Para ello requieren de algunas mezclas y someterlos a distintos factores como altas temperaturas, por ejemplo: plástico, papel, cartón, vidrio, goma, porcelana, telas, etc.

ESTADO DE AGREGACIÓN DE LA MATERIA

Otra categoría es por el estado de agregación de la materia, dividiéndose en sólidos, líquidos y gaseosos, como se ilustra en la **figura 2**.

Figura 2

Ilustración de los estados de la materia



Nota: Recuperado de (Brown, LeMay, Jr., Bursten y Burdge 2004).

COMPOSICIÓN

En cuanto a la clasificación química de la materia, se divide en elementos y compuestos. Los elementos también llamados sustancias puras no pueden descomponerse por ningún tipo de procedimiento y los compuestos se conforman por una serie de mezclas de estos

elementos y sí pueden llegar a separarse (Viñas & Mancini, 2003). En la **imagen 1** y **2** se ilustra lo anteriormente expuesto.

Imagen 1

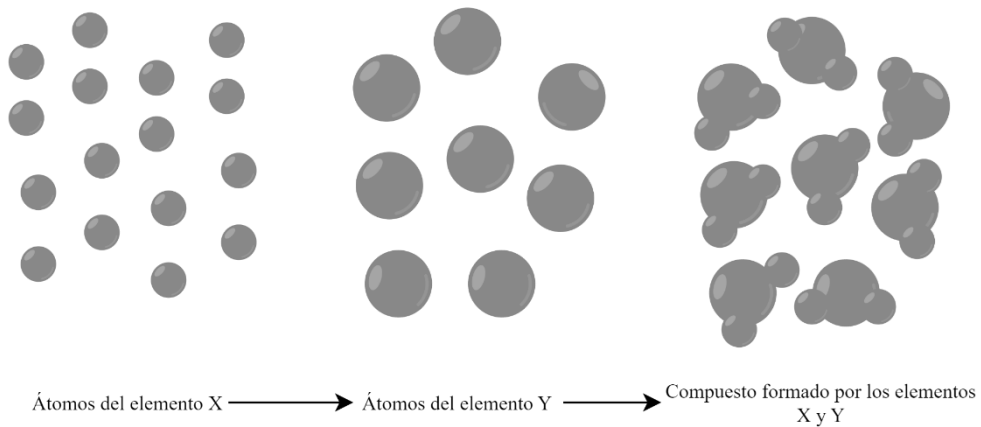
Clasificación de los elementos por su número atómico (número de protones)



Nota: (Paz, 2011).

Imagen 2

Conformación de un compuesto.



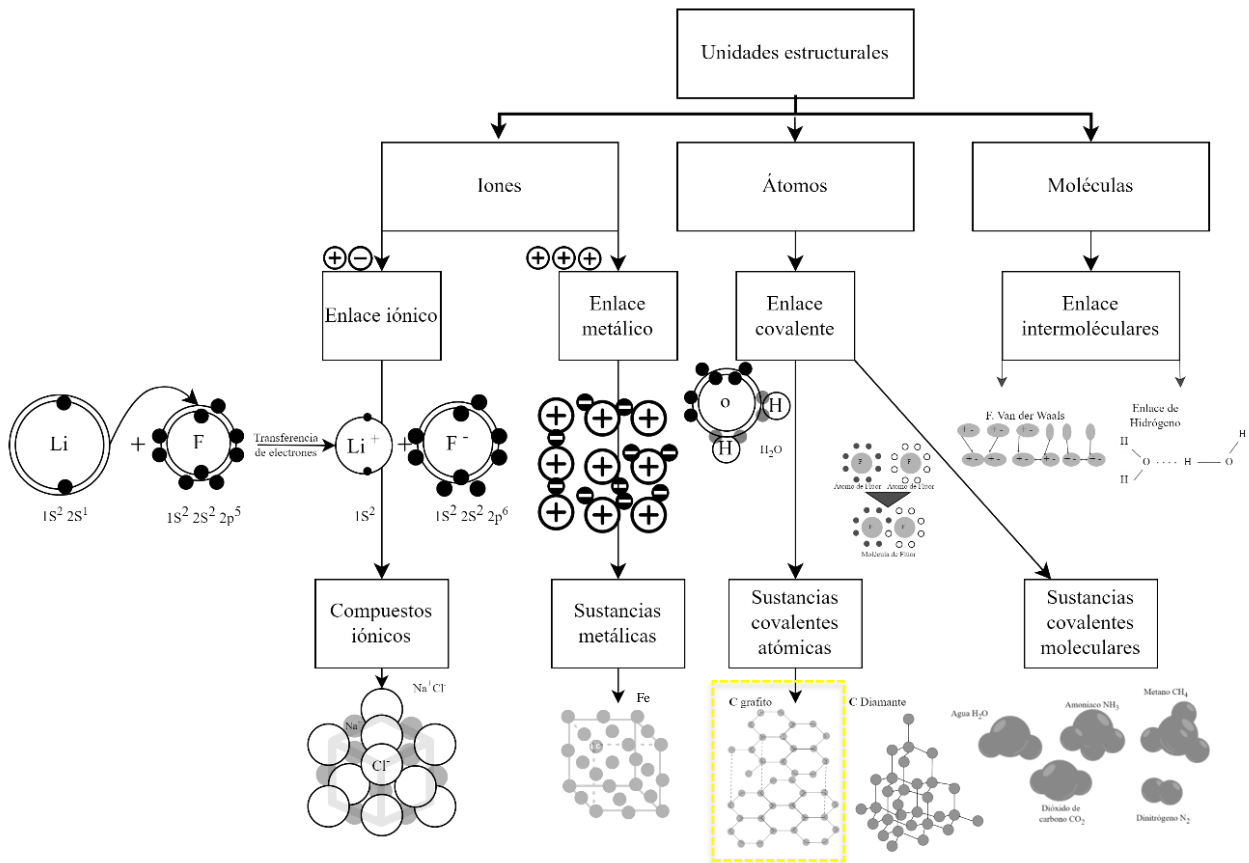
Nota: (Chang y College, 2002).

SEGÚN EL ENLACE

Los enlaces químicos son varios. Estos pueden ocurrir entre iones, átomos o moléculas. Cada uno de los antes mencionados, son conceptos que pertenecen a una parte de lo que llamamos materia. Es importante conocerlos individualmente al igual que sus interacciones entre ellos, porque determinan las propiedades de los materiales que constituyen y diferencian a los gases, los metales, no metales, a las sales, etc. (Valverde, 2022). Estos son iónico, iónico covalente, covalente, metálico, van der Waals. Al respecto se puede consultar la **figura 3**.

Figura 3

Unidades estructurales



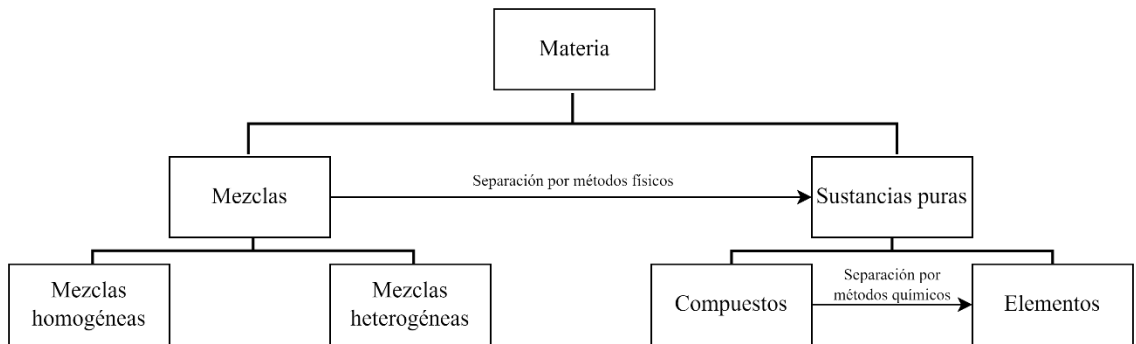
Nota: Según sea la unidad estructural, el enlace es diferente como se puede apreciar en la **figura 3**. Adaptado de *Unidades estructurales*, por Armijo, M. C., 2015, UAEH (<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/16793>).

MEZCLAS

Las mezclas se clasifican de acuerdo al **diagrama 1** en homogéneas y heterogéneas y se hacen con referencia a alguna de las siguientes escalas: atómica, microscópica, mesoscópica y macroscópica.

Diagrama 1

Clasificación de la materia



Nota: Chang (2002).

- Heterogéneas: Las sustancias que lo componen se distinguen con facilidad.
- Homogéneas: La mezcla es uniforme. Los compuestos no se distinguen con facilidad.

- Disoluciones: Mezcla entre un líquido y un elemento o compuesto en donde existe un soluto y un disolvente. La mezcla es homogénea.

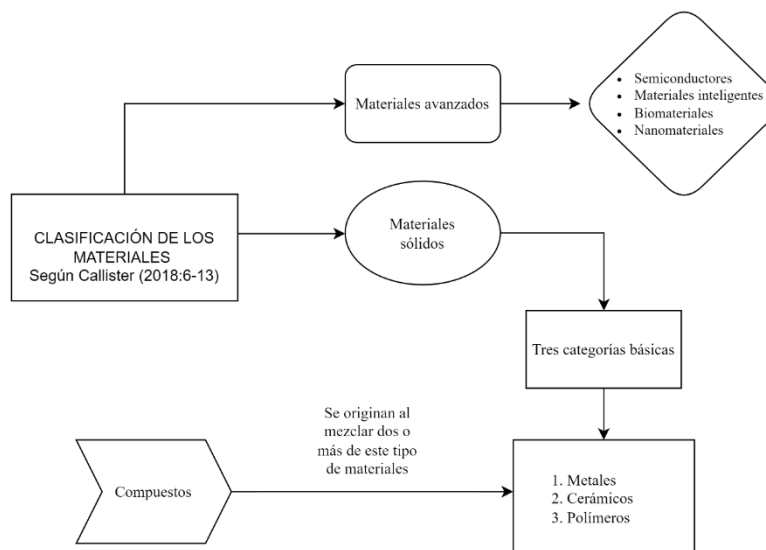
POR MANUFACTURA

Esta clasificación recibe su nombre debido a que los materiales han pasado por distintos procesos para ser manufacturados, es decir, su origen no es natural y sus propiedades han sido modificadas o diseñadas para un fin específico, cómo podemos observar en el **diagrama 2**. La clasificación comprende tres categorías básicas, las cuales son metales, polímeros y cerámicos. Al mismo tiempo se contemplan a los materiales avanzados, tales como los semiconductores, materiales inteligentes, biomateriales y los nanomateriales. Esta clasificación permite un mejor aprovechamiento y mejoramiento.

Las propiedades químicas y físicas de los materiales por manufactura son distintas entre sí. Estas propiedades tienen diferencias significativas de acuerdo a sus procesos de elaboración, estructura atómica, entre otras.

Diagrama 2

Clasificación de los materiales por manufactura.



Adicional a los 3 grupos principales de manufactura, se encuentra un grupo intermedio que es el de los materiales compuestos, los cuales son mezclas no homogéneas de los otros tres tipos básicos de materiales.

CLASIFICACIÓN MATERIALES POR MANUFACTURA

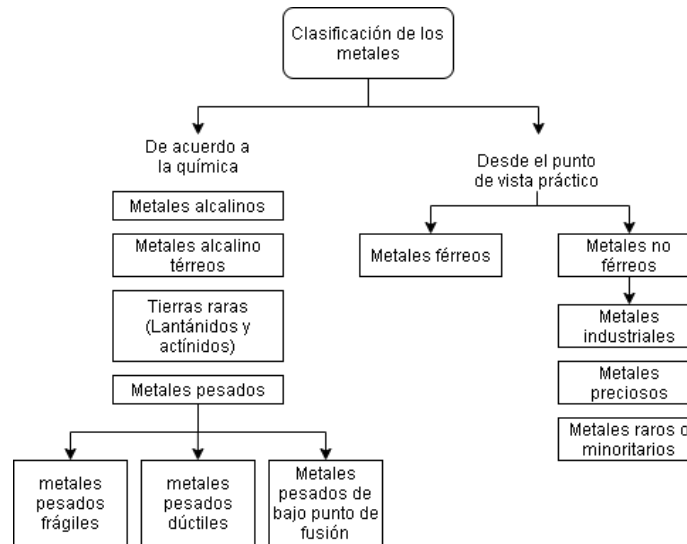
METALES

Los metales son elementos químicos que poseen buena conductividad térmica y eléctrica. Comprenden la mayor parte de la tabla periódica y están presentes como metales y no metales. Adicionalmente, se encuentran divididos por una línea intermedia de elementos químicos llamados semimetales.

Aparecen normalmente en estado sólido a temperatura ambiente con excepción del mercurio que es líquido. Su densidad suele ser elevada, aunque al igual que sus puntos de fusión suelen ser variables, lo cual permite aplicaciones industriales especiales (SIEMCALSA, 2008). La clasificación de los metales suele establecerse desde dos puntos de vista, ya sea químico o práctico como se indica en el **diagrama 3**.

Diagrama 3

Clasificación de los metales



Nota: (SIEMCALSA, 2008).

POLÍMEROS

Los polímeros son materiales formados por largas cadenas de moléculas. Dichas moléculas son llamadas monómeros¹ y están constituidas por cientos de átomos. Al estar compuestos repetitivamente por estas moléculas, se consideran una macromolécula.

Los polímeros sintéticos se producen mediante un proceso químico llamado *reacción de polimerización*, generando enlaces covalentes, en donde los monómeros pasan a ser parte de una larga cadena macromolecular. La polimerización puede ser de adición o de

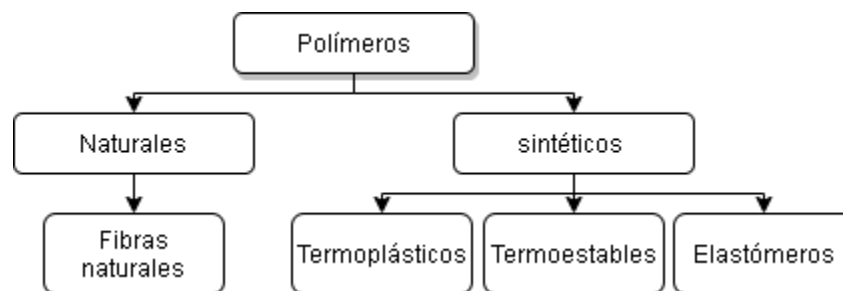
¹ De acuerdo a su etimología que significa ‘una parte’, un monómero es una molécula con un solo tipo de átomo, es decir simple, que sirve como un bloque de construcción para formar grandes cadenas de un mismo monómero llamadas moléculas y son la unidad básica para conformar un polímero.

crecimiento de cadena, donde el proceso de los radicales libres², iones o complejos metálicos son transitorios³ y no pueden aislarse⁴. El segundo tipo de polimerización es el de crecimiento por pasos, que es producida por reacciones entre moléculas que tienen grupos funcionales (Hermida, Élida, 2011).

Dentro del grupo de los polímeros, son estudiados los polímeros de origen biológico o natural y los polímeros de origen sintético (**Diagrama 4**). Sin embargo, existen distintas clasificaciones de los polímeros. La primera ya mencionada es según su origen.

Diagrama 4

Clasificación de los polímeros de acuerdo a su origen



Nota: (F. López- Charrasquero, 2014).

² Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón libre, por lo tanto tienden a captar electrones de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica, por lo que son muy reactivos.

³ En el estado de transición química se asume que las especies reactantes conducirán siempre a la formación de productos.

⁴ Separación de una mezcla.

CERÁMICOS

Los cerámicos son compuestos inorgánicos con enlaces iónicos, dispuestos químicamente por elementos metálicos y no metálicos. Por su amplia variedad de composiciones, presentan diferentes propiedades. En general, son más estables en ambientes químicos y térmicos.

Se caracterizan principalmente por ser ligeros, aislantes y por poseer gran dureza con alta resistencia a las elevadas temperaturas, a la fricción y al desgaste. Aunque son susceptibles a ser frágiles (Smith, W. F. et. al. 2006).

Su estructura puede ser cristalina, no cristalina o una mezcla de ambas y está determinada por el número de átomos de cada elemento.

Los procesos de manufactura son específicos dependiendo el cerámico que se pretenda obtener, estos contemplan distintas fases extensas y complejas. Las materias primas tienen una gran importancia, debido a su efecto directo en las propiedades finales de los compuestos cerámicos.

Las cerámicas tradicionales se fabrican con silicatos, minerales naturales, arcillas, feldespato y talco. Por ello, las propiedades de un cerámico manufacturado dependen de tres factores importantes:

1. Las cualidades presentes en la materia prima utilizada.
2. La tecnología empleada en su producción.

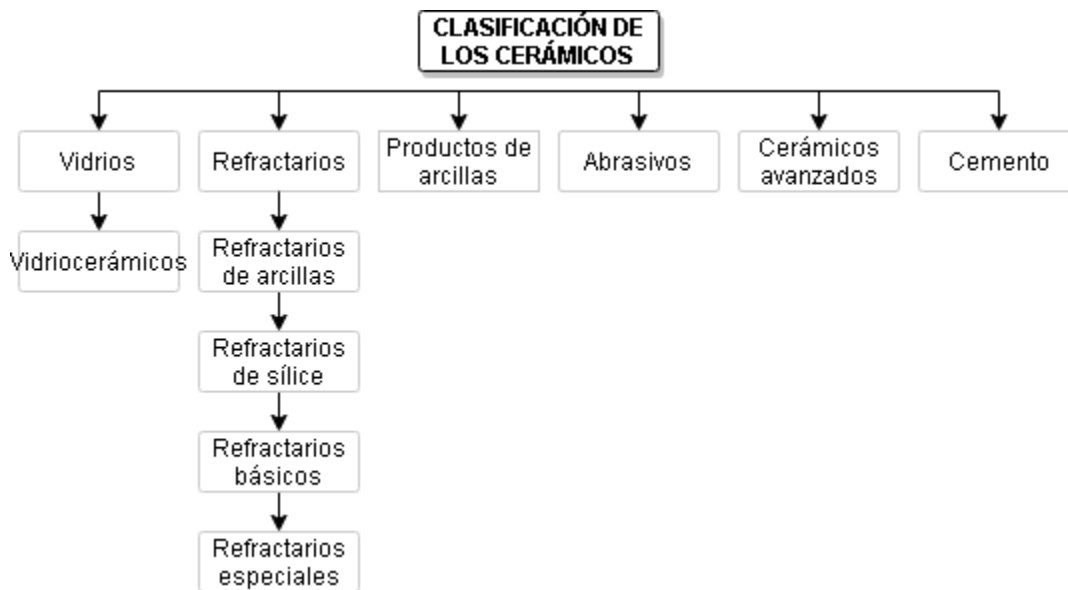
3. Procesos de fabricación, que finalmente determinan su estructura interna, así como las características de sus superficies (Pinto, 2011).

CLASIFICACIÓN DE LOS CERÁMICOS

La aplicación de los materiales cerámicos es amplia y su clasificación se hace con base en su utilidad. Contempla a los vidrios, productos de arcilla, refractarios, abrasivos, cerámicos avanzados y cementos. Véase *diagrama 5*.

Diagrama 5

Clasificación de los cerámicos



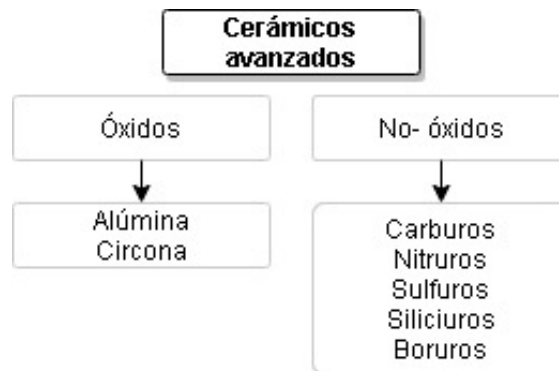
CERÁMICOS AVANZADOS

En los últimos años se ha desarrollado una nueva generación de cerámicos, denominados *cerámicos estructurales, de ingeniería o avanzados*, ya que cuentan con características

mejoradas, Smith, W. F. et. al. (2006). Los cerámicos avanzados presentan propiedades físicas y químicas superiores. Esto se debe al empleo y control riguroso en la composición de las materias primas puras, además de su sintetización a elevadas temperaturas (1,600-1,900°C). Estos son compuestos, oxidados y no-oxidados (**Diagrama 6**) de elementos metálicos, no metálicos e incluso el carbón. Por ende, los cerámicos avanzados son de muchas clases con funciones en distintos campos. Son livianos y sus principales características son la resistencia a la deformación, incluso en altas temperaturas, oposición al deseste y a la corrosión.

Diagrama 6

Clasificación de cerámicos avanzados



Nota: (Pinto, 2011).

MATERIALES COMPUESTOS

Se trata de combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes. Estos componentes suelen identificarse físicamente, ya que no se disuelven entre sí, lo que quiere decir que a una escala micro y macro, sus constituyentes logran ser diferenciados y son heterogéneos. Se producen con el fin de obtener características superiores a las que se pueden alcanzar con los materiales de manera individual.

Su producción suele ser de un material denominado de refuerzo y un material aglomerante (matriz). La matriz es la fase continua en la que el refuerzo queda embebido. Puede ser de origen metálico (MMC)⁵, cerámico (CMC)⁶ o polimérico (PMC)⁷. Sin embargo, con regularidad y a excepción de los cerámicos, no es tan rígida ni tan resistente como el material de refuerzo. Podemos observar en el **diagrama 7** las matrices, las fibras y algunos materiales compuestos intermedios. Los materiales compuestos son diseñados de acuerdo a las condiciones en las que las piezas o estructuras trabajan. Remontándonos a la historia, los primeros materiales compuestos utilizados por el ser humano, son de origen natural. En la Prehistoria, por ejemplo, se empleó adobe como un material compuesto de barro reforzado con paja cuyos orígenes datan del año 7000 a. C. en la ciudad de Çatalhöyük, en Anatolia, Turquía (Katz, 2011) (Smith, W. F. et. al. 2006).

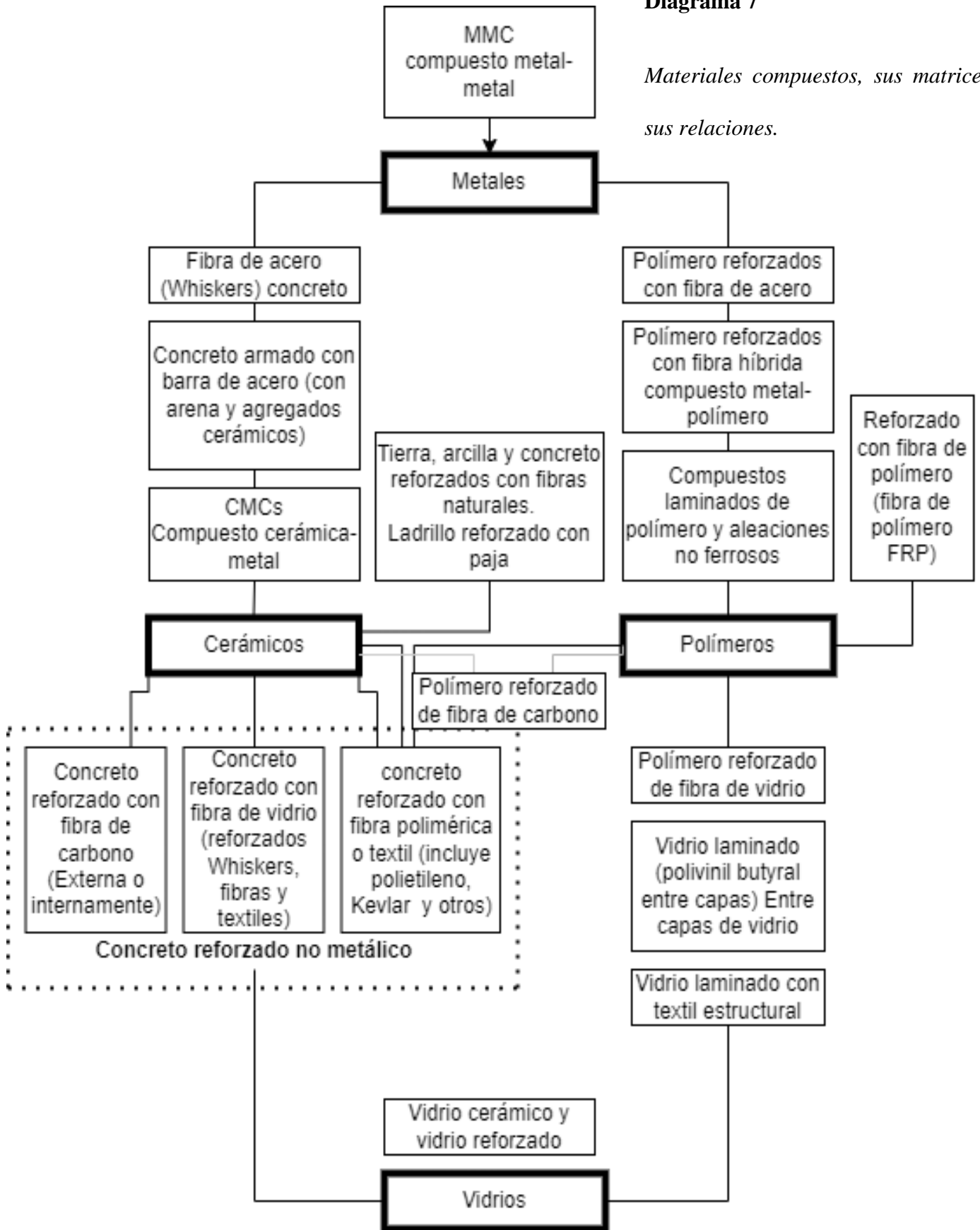
⁵Compuesto de matriz metálica. Por sus siglas en inglés (Smith, W. F. et. al. 2006).

⁶Compuesto de matriz cerámica. Por sus siglas en inglés (Smith, W. F. et. al. 2006).

⁷Compuesto de matriz polimérica. Por sus siglas en inglés (Smith, W. F. et. al. 2006).

Diagrama 7

Materiales compuestos, sus matrices y sus relaciones.



COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

MATRIZ

La matriz es el material en el cual podemos encontrar al refuerzo. Define las propiedades físicas, químicas y transmite las cargas, protege y brinda cohesión al refuerzo.

La conformación y el acabado dependerá de la matriz. También es el caso en el control de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y su trabajo en temperaturas elevadas del compuesto.

MATERIAL DE REFUERZO

Es el agregado que confiere al compuesto propiedades que la matriz no posee. En general el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia mecánica y la rigidez. A menudo, es utilizado para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión (Katz, 2011).

Los refuerzos pueden ser en forma de partículas o fibras. Como regla, en cuanto menor tamaño tengan las partículas se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra y más homogéneamente distribuidas están en la matriz.

Fibra de vidrio. Son las fibras más comunes y utilizadas. Esto es debido a su bajo costo en comparación con fibras de carbono u orgánicas. A pesar de que, pensamos que el vidrio no posee propiedades mecánicas rescatables, las fibras de vidrio se comportan de una manera diferente. Poseen propiedades a tracción

y capacidad de elongación, comparables con las del carbono, aunque con un menor módulo de tensión.

Fibra de carbono. La estructura de las fibras de carbono es similar a la del grafito. No obstante, su estructura hexagonal no es cristalina, si no amorfa y son empaquetadas de tal modo que su estructura no se deslice entre sí, e incrementa su resistencia.

Fibras orgánicas. La aramida es un filamento orgánico obtenido de derivados del petróleo. Su uso está destinado a los compuestos ligeros y a aislantes eléctricos. Sus propiedades mecánicas suelen ser inferiores. Su coeficiente específico de tracción es alto, aunque su resistencia a tracción es baja.

Fibras naturales. Principalmente empleadas en los compuestos polímeros de la industria automotriz. Proviene de productos naturales como el lino y la fibra de coco. Su empleo significa fabricación con materia prima más económica y con menor impacto ambiental. Pero aún se encuentran estas fibras en desarrollo y los costos de su producción aún son elevados.

INTERFASE

La zona de contacto de composición química variable entre la matriz y el refuerzo se le conoce como interfase en donde puede existir o no interacción química. La importancia de la misma, es similar a la importancia de las características de la matriz o del refuerzo. Por consiguiente, si la interfase es débil, la transferencia de cargas de la matriz al refuerzo no será eficiente, lo que puede llevar a la rotura del compuesto. La buena

adhesión depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de ambos componentes por lo que existen aditivos para cubrir las fibras y de este modo resultan más compatibles con la matriz.

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

La clasificación de los materiales compuestos puede ser en función de la naturaleza de su matriz o de acuerdo al componente que posea el refuerzo.

POR NATURALEZA DE LA MATRIZ

Compuestos de matriz polimérica. Son conocidos como plásticos (reforzados con fibras) y son los compuestos más comunes. La matriz es un polímero y los refuerzos pueden ser fibras de vidrio, carbono o aramidas.

Compuesto de matriz metálica. Su matriz está conformada por metales livianos, como el aluminio y los refuerzos comúnmente son utilizados como las fibras de carburo de silicio. Su empleo cada vez gana más terreno dentro de la industria automotriz.

Compuestos de matriz cerámica. La matriz de estos compuestos es cerámica con refuerzos de fibras cortas o *whiskers* de carburo de silicio o nitruro de boro, son utilizadas en aplicaciones de alta temperatura.

DE ACUERDO AL REFUERZO

Materiales compuestos reforzados con partículas. Están clasificados en dos tipos, los materiales, consolidados por dispersión y materiales reforzados con partículas grandes.

Consolidados por dispersión. Estos materiales son aquellos cuyas partículas tienen una medida de 10 a 250 nm de diámetro.

Materiales reforzados con partículas grandes. Son aquellos que están reforzados con las partículas que tienen un rango macroscópico. Uno de los compuestos reforzados con partículas grandes más común es el concreto, donde sus agregados (arena y grava) tienen tamaños determinados en comparación con las fibras.

Materiales compuestos reforzados con fibras. Los compuestos reforzados con fibras poseen una mayor resistencia a la fatiga, rigidez y una relación equilibrada resistencia-peso ya que la matriz transfiere las cargas al refuerzo, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto no se ve afectada por las altas temperaturas, ni la temperatura ambiente.

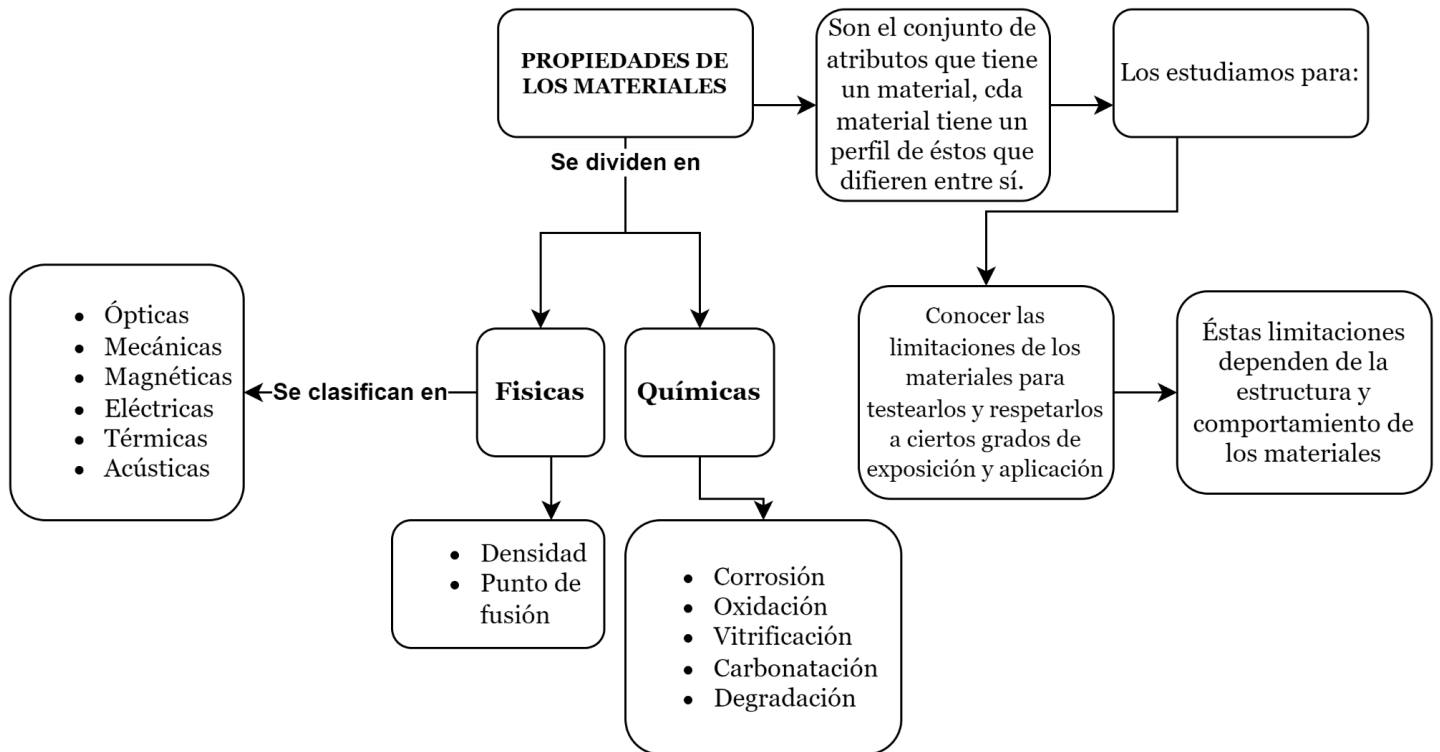
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de un material son respuestas de clase y magnitud a estímulos específicos impuestos. Gracias a la combinación de alguno de ellos, se consigue potencializarlos, por lo que la ciencia e ingeniería de materiales puede emplearlos para satisfacer requerimientos específicos (Callister, 2017).

Las propiedades de los materiales son útiles para conocer las limitaciones de cada uno, mediante el análisis y pruebas a cierto grado de aplicación y exposición. Estas permiten agrupar a los materiales en familias, aportando una distinción del origen de las mismas. Dependen de la estructura química, la conformación de elementos y el tipo de enlace químico, por lo que desempeñará una función específica de acuerdo a sus atributos. Dichas propiedades se dividen en químicas y físicas. Estas últimas se subdividen en ópticas, magnéticas, eléctricas, térmicas, acústicas y mecánicas.

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

Las propiedades de los materiales se dividen en dos principales ciencias, las químicas y las físicas. En el **diagrama 8** se puede apreciar la división principal con las subsecuentes subdivisiones que se desarrollarán más adelante.

Diagrama 8*Propiedades de los materiales***PROPIEDADES QUÍMICAS**

Aquellas que corresponden a los cambios relacionados en la composición de los materiales de acuerdo a factores externos químicos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas son medibles, visibles y no alteran la sustancia o material en cuanto a su estructura química.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Para efectos de la investigación se enfocará la atención en las propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los materiales pueden ser definidas como el empleo de fuerzas aplicadas sobre un material en cuestión y su evaluación de acuerdo a su comportamiento.

Dureza. Capacidad de un material de oponerse a ser rayado o penetrado por otro.

Tenacidad. Capacidad de un material para absorber energía durante la aplicación de esfuerzos lentos hasta llegar a la rotura.

Fragilidad. Capacidad de un material de romperse por una determinada carga sin deformarse significativamente.

Ductilidad. Capacidad de un material de ser convertido en hilos sin llegar a la rotura.

Maleabilidad. Capacidad de un material de ser convertido en láminas delgadas sin romperse.

Deformación. Cualidad de un material de alterar su forma física al estar sometido a una fuerza externa, que puede ser elástica o plástica.

Elasticidad. Capacidad de un material para recuperar su forma original después de aplicarle un esfuerzo externo.

Plasticidad. Capacidad de un material de perder su forma al aplicarle un esfuerzo externo, sin alcanzar la rotura.

Acritud. Capacidad de un material para aumentar su resistencia por medio de las deformaciones.

Resistencia. Capacidad de un material de soportar cargas o fuerzas sin que llegue a la ruptura.

Resiliencia. Es una magnitud que cuantifica la cantidad de energía que almacena por unidad de volumen un material al ser sometido a una deformación elástica a través de la tensión, sin sufrir una deformación irreversible.

Fatiga. Es la capacidad de un material de falla por la aplicación de carga y descarga repetidas (ASM International, 2010).

PROPIEDADES DE LOS CERÁMICOS

Distintos aspectos tienen influencia en las propiedades de los materiales cerámicos. Por ejemplo, los enlaces atómicos y la estructura cristalina de estos materiales. También son estudiadas las propiedades sin ignorar la relación que éstas tienen con sus procesos de fabricación y la tecnología utilizada.

PROPIEDADES FÍSICAS

DENSIDAD

La densidad está determinada por el tamaño, el peso de los elementos y el empaquetamiento de su estructura. Si son cerrados en caso de los metales y los cerámicos enlazados iónicamente, resultan en cuerpos muy densos. Mientras que las estructuras más abiertas como lo son los cerámicos enlazados de manera covalente tienen una densidad inferior.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

Una de las propiedades mecánicas que caracterizan a los materiales cerámicos es su fragilidad. Esto se debe a la porosidad que presentan. Hoy en día existe todo un conjunto de técnicas para reducir la porosidad y el comportamiento mecánico no es el mismo para todos. Es destacable mencionar que un comportamiento común dentro de los materiales cerámicos es que presentan mayor resistencia a la ruptura en compresión, que a la tracción (Díaz-Rubio, 1999).

ELASTICIDAD

Cuando una carga es aplicada en un material, éste puede sufrir una deformación debido al cambio en los espacios de su estructura, la carga es definida por esfuerzo y medida en MPa, la deformación está definida en cm. La deformación depende de la resistencia del enlace atómico del material, la temperatura y el esfuerzo, que hasta cierto límite es capaz de recibir para que al ser removido la deformación es reversible, a esto se le conoce como deformación elástica.

A temperaturas ambiente e intermedias y cargas aplicadas por periodos de tiempo cortos, la mayoría de los cerámicos se comportan elásticamente sin ninguna deformación plástica hasta la fractura.

RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia tensil puede medirse por esfuerzo tensil uniaxial, por tensil hidrostático y por *theta*, aunque a los cerámicos normalmente no se les caracteriza por medio de un ensayo tensil.

La resistencia a la compresión es una característica dentro de los materiales cerámicos, principalmente para aquellos que deben soportar cargas estructurales, ya que usualmente la resistencia de un cerámico a la compresión es mayor que la resistencia tensil. De tal manera que sus aplicaciones son destinadas a recibir cargas a compresión y su resistencia aumenta cuando los granos del componente cerámico son menores (García et al., 2015).

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Como se expuso anteriormente los materiales compuestos están formados por dos o más materiales, lo que resulta en la combinación de sus propiedades para generar las propiedades del material compuesto.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades del material compuesto estarán determinadas por las propiedades de la fibra, de la matriz y la geometría de las fibras del compuesto. Generalmente los materiales compuestos poseen una alta resistencia mecánica al mismo tiempo que una baja densidad, lo que permite obtener elementos resistentes y al mismo tiempo livianos.



GRAFFITO

CAPÍTULO 2.- GRAFITO

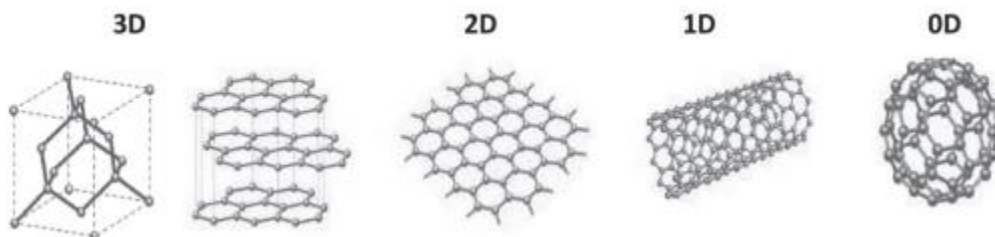
Existe un elemento químico en gran abundancia en el sistema universal y es el carbono. Es conocido porque es el elemento principal de lo que está conformado mayormente todo lo existente en el planeta. En la Tierra ocupa el cuarto lugar en ser el elemento más abundante seguido por el hidrógeno, helio y el oxígeno.

El carbono es un elemento químico, diferenciado en la tabla periódica por su símbolo **C** y tiene la capacidad de presentar variaciones morfológicas y químicas, mediante la diversidad de organización de sus átomos; dando lugar a los alótropos que son formas estructurales moleculares y cristalinas existentes en estado sólido (Manutchehr, 2009).

Las variaciones de los llamados alótropos del carbono son: tridimensionales (grafito y diamante), bidimensionales (grafeno), monodimensionales (nanotubos) y cero dimensionales (fullerenos), referenciados en la **figura 4** (2012).

Figura 4

Formas alotrópicas del carbono



Nota: Figura recuperada de (Katsnelson, 2007). 3D (diamante y grafito), 2D (grafeno), 1D (nanotubos de carbono) y 0D (fullerenos).

GRAFITO

El grafito es el alótropo más abundante, utilizado en culturas neolíticas para diversos usos, entre ellos la pigmentación. Este mineral en 1500 fue descubierto en un gran depósito en Inglaterra (2012) y adquirió su nombre por Abraham Gottlob Werner en el año 1789 donde el término grafito deriva del griego γραφειν (graphein) que significa escribir. También se denomina plumbagina y plomo negro.

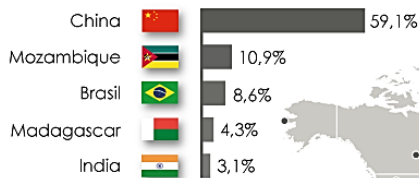
El grafito es un mineral existente en yacimientos naturales de rocas carbonosas que se puede extraer de minas (Patente, 2018) y también es producido artificialmente. El principal productor mundial de grafito es China, seguido de India y Brasil (*Grafito*, s. f.)

Esquema 1

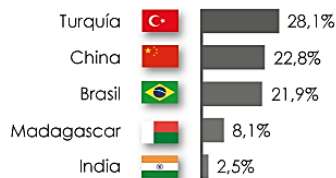
Extracción mundial de grafito

Explotación y yacimientos

Principales productores
(% de la producción mundial, 2020)



Países con más reservas
(% de las reservas mundiales, 2020)



Principales yacimientos explotados

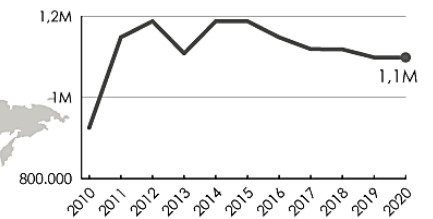
● Grafito en escamas o cristalino ● Grafito amorfo

Turquía, que tiene las mayores reservas de grafito del mundo, es un importador neto de este mineral

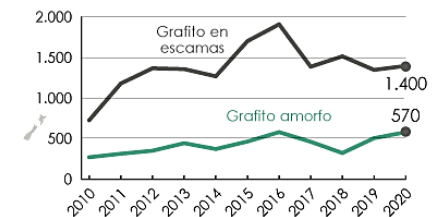
El grafito en escamas, utilizado en las baterías de iones de litio de los coches eléctricos, es el más valorado

El amorfo es en su lugar empleado en la industria refractaria por su resistencia al calor

Producción mundial
(toneladas)



Evolución del precio
(\$ por tonelada)



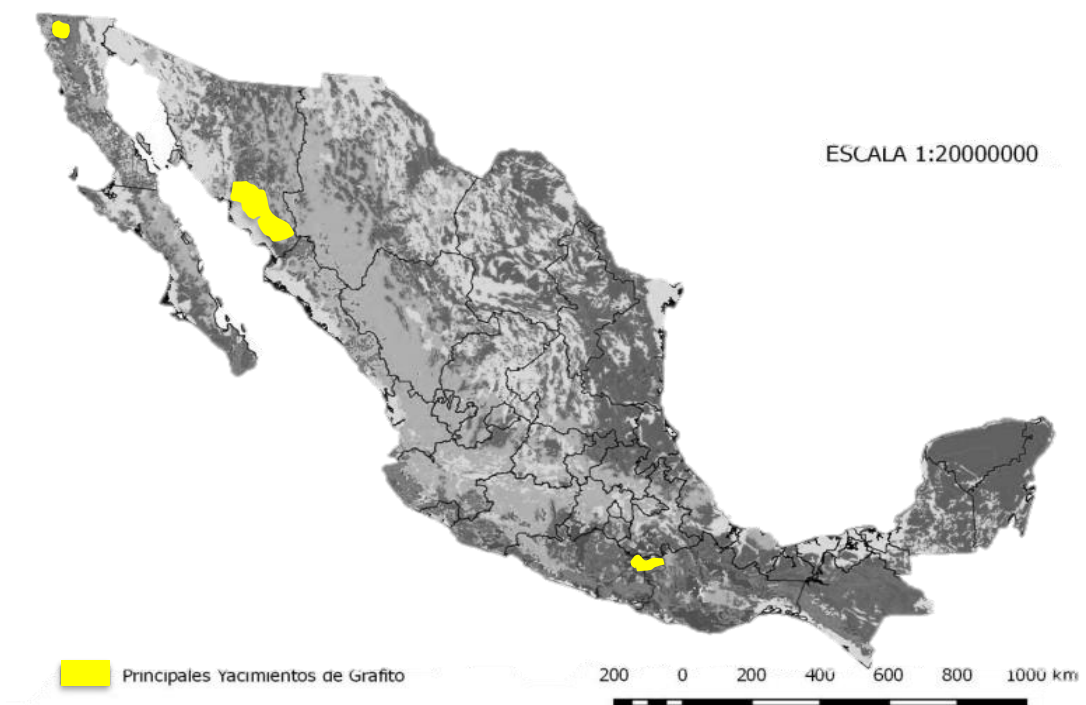
Infografía:
Álvaro Merino (2021)
Fuente:
Reuters (2019); USGS (2021)

Nota: Esquema recuperada de (elordenmundial.com, 2021).

En México el principal productor de grafito *amorfo* es el estado de Sonora. Las minas que exhiben mayor producción de dicho mineral son las minas de la región de Tónichi y San José de Moradillas (El Cochi), así como en las cercanías de San Bernardo, en el Área de Topiyeca, como se puede apreciar en la **figura 5**. («Perfil de mercado del grafito», 2018)

Figura 5

Emplazamiento principal de extracción de grafito en México



Nota: Figura recuperada de («Perfil de mercado del grafito», 2018).

PROPIEDADES DEL GRAFITO

El grafito es un excelente conductor de la electricidad, opaco y suave que, al contrario del diamante, es aislante, transparente en el espectro visible y cuenta con gran dureza. Estas diferencias son consecuencia de la configuración atómica que tienen en sus estructuras. (Alzate Carvajal, 2017).

El grafito es un mineral estable que de acuerdo a sus propiedades y aplicaciones abre la posibilidad de utilizarlo en diferentes campos de la ciencia. Este mineral tiene características morfológicas interesantes, como lo es su color gris oscuro, brillo metaloide, suave al tacto, estable e inoloro y es resistente a altas temperaturas, excelente conductor de electricidad y calor, no es tóxico y es inerte en temperaturas normales.

TIPOS DE GRAFITO

Grafito natural

Se clasifica de acuerdo a su forma presente en la naturaleza en cristalino (escamoso y veta) y amorfo (microcristalino). Estas variaciones se describen en la **figura 6**.

Figura 6

Clasificación del grafito natural de acuerdo a su forma.

Cristalino		Amorfo
Escamoso	Veta	
<ul style="list-style-type: none">• Se encuentra en forma de láminas planas de aspecto escamoso.• Cada una de las láminas están separadas, cristalizadas en las rocas metamórficas como el mármol, gneis, esquisto, cuarzo, cuarcita con feldespato o mica.• Las láminas tienen un aspecto grasoso y sus variables• De un depósito a otro se pueden encontrar variaciones en dureza, grosor, densidad y forma.• Los depósitos comerciales importantes se presentan en capas o lentes.	<ul style="list-style-type: none">• Se localiza en forma de vetas hidrotermales o en forma de acumulaciones a lo largo de las superficies de contacto entre pegmatitas y calizas.• Comercialmente se separan de acuerdo a su tamaño.• Las vetas varían en dimensión desde unos cuantos milímetros a más de 2 metros.• Las impurezas que se presentan como granos en el grafito consisten en feldespato, cuarzo, mica, zircón, rutio y apatito.	<ul style="list-style-type: none">• Se encuentra en forma de partículas microcristalinas más o menos uniformemente distribuidas en rocas metamórficas suaves como pizarras y filitas.• Esta variedad tiene una apariencia terrosa, negra y suave.• El producto comercial contiene entre 50 y 94% de grafito.• Se han formado por metamorfismo.

Nota: Figura recuperada de («Perfil de mercado del grafito», 2018)

Grafito sintético

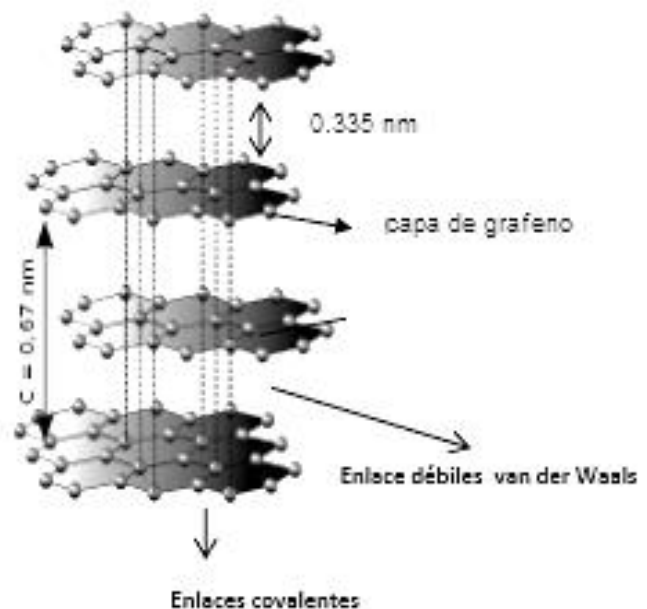
El grafito es un material que en su estado *natural* presenta impurezas e imperfecciones que para ciertas aplicaciones tiene que ser procesado, dando origen al ***grafito sintético*** de

mayor cristalinidad. El proceso más común para producir grafito de origen sintético es la grafitización del carbón no grafitico; es decir, el procedimiento es con base en un depósito químico en fase vapor (CVD) de hidrocarburos expuestos a elevadas temperaturas y la cristalización de metales fundidos colmados con carbono (grafito Kish).

Otro tipo de grafito es el HOPG, que por sus siglas en inglés significa (Highly Ordered / Oriented Pyrolytic Graphite) Grafito pirolítico altamente orientado, llamado así por su gran perfección cristalina, gracias al proceso con el que se obtiene, que consiste en efectuar un pirólisis de hidrocarburos a altas presiones y temperaturas que superan más de los 2700°C que consecuentemente se expondrán a un tratamiento térmico de grafitización del carbono pirolítico. Obtiene su mayoría estructuras laminares de grafeno, lo que lo hace un material de alto grado anisotrópico, que quiere decir que de acuerdo a las diversas estructuras atómicas que contiene, este material tenderá a presentar diversas propiedades. Estas propiedades radican en que gracias a las débiles interacciones que se producen entre los planos de grafeno, el grafito HOPG es considerado un buen conductor térmico por los electrones deslocalizados entre dichos planos y a la vez un buen aislante térmico. Esto debido a su estructura atómica (**figura 7**) (Silvina Fuentes, 2015).

Figura 7

Estructura atómica del grafito HOPG.



Nota: (Fuentes, S. 2015).

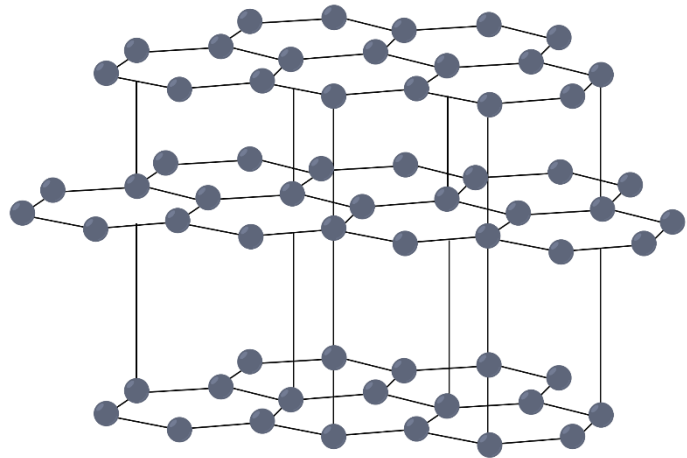
Estos tipos de grafitos tienen aplicaciones variadas. Entre las principales se encuentran, la conducción eléctrica y térmica, usado para pigmentaciones que se componen con arcillas y sus diversas funcionalidades como lubricante. Estudios recientes han demostrado que este material es precedente para la creación de otros nuevos materiales, entre ellos se encuentran los nanotubos de carbono (Durán Contreras, 2016).

ESTRUCTURA DEL GRAFITO

Su estructura está compuesta por tres dimensiones de partículas de grafeno (**figura 8**) formados por un sistema de anillos denominados bencénicos, los cuales están conformados en capas separadas entre sí, que para cuestiones de exactitud se pueden entender como una pila de láminas de partículas de carbono (Paz Ortega, 2018).

Figura 8

Estructura del grafito natural



Nota: Las láminas están conformadas por anillos de seis átomos de carbono que se unen por enlaces covalentes. Figura recuperada de (Durán Contreras, 2016).

APLICACIONES DEL GRAFITO

El grafito es un material derivado del carbón, que se clasifica de acuerdo a su estructura atómica (**figura 3**) y es un alótropo muy estable en condiciones de temperatura (25°C) y atmósfera (1) estándar. Gracias a esto, sus características como ser poco reactivo y aislante térmico, son aprovechadas en la industria como:

- Revestimientos: En aceros y hierros usando grafito sintético para aumentar el carbono en dichos metales (2018).
- Refractarios: Ladrillos, crisoles y moldes de fundición (2016).
- Lubricantes: Por su conformación atómica las capas de grafito son resbaladizas y deslizables, lo que hace del grafito excelente lubricante sólido.
- Pinturas y pastas para acabados: Pigmentos, antiadherentes y antihumedad.
- Material eléctrico: Su uso para fines eléctricos son varios, entre ellos destacan la producción de electrodos.
- Piezas de ingeniería: Pistones, arandelas, juntas, rodamientos. (Grafito, s. f.).
- Infraestructura: Pistas y/o asfaltos conductivos aplicados en aeropuertos, carreteras y puentes (2018).
- Dibujo: Fabricación de lápices.



GRAFFITO DISUELTO

GRAFITO

A través del tiempo, el ser humano ha buscado alternativas para crear y construir, entre ellas está el mejoramiento de los materiales para utilizarlos en diversos ámbitos, uno de ellos ha sido el concreto. Este material es muy conocido por ser uno de los principales materiales en la construcción y por consecuencia, uno de los materiales más probados para potenciar sus propiedades. Entre las tantas pruebas existe la opción de combinar las propiedades que tiene el grafito para brindarle nuevas propiedades al concreto e incrementar / reforzar con las que ya cuenta.

Años anteriores se ha intentado mezclar el concreto y los materiales cementantes con el grafito, pero esto ha sido un problema, ya que el grafito no tiene la propiedad de humectabilidad y es complicado mezclar el concreto con dicho material puesto que es un material impermeable. Pero existen métodos que hacen que el grafito pueda integrarse a la mezcla. Uno de ellos es exponer al grafito al negro de humo N220. Dicho material es utilizado comúnmente para reparar neumáticos o como base para tintas de impresión (González, V. 2015).

GRAFITO DISUELTO EN AGUA

El grafito por sí solo no se puede diluir en agua, ya que es un material impermeable (Manutchehr, 2014), por lo que necesita de un material que lo disperse y rompa la tensión superficial de sus partículas. Con lo que se ha experimentado para romper la tensión superficial que tiene el grafito es con el negro de humo N220, que envuelve las partículas del grafito, haciéndolas permeables. La concentración de negro de humo N220 en polvo de grafito con solución tensoactiva y dispersante, se diluye en agua fácilmente (Kaushlesh, 2017).

GRAFITO EN PASTAS CEMENTANTES

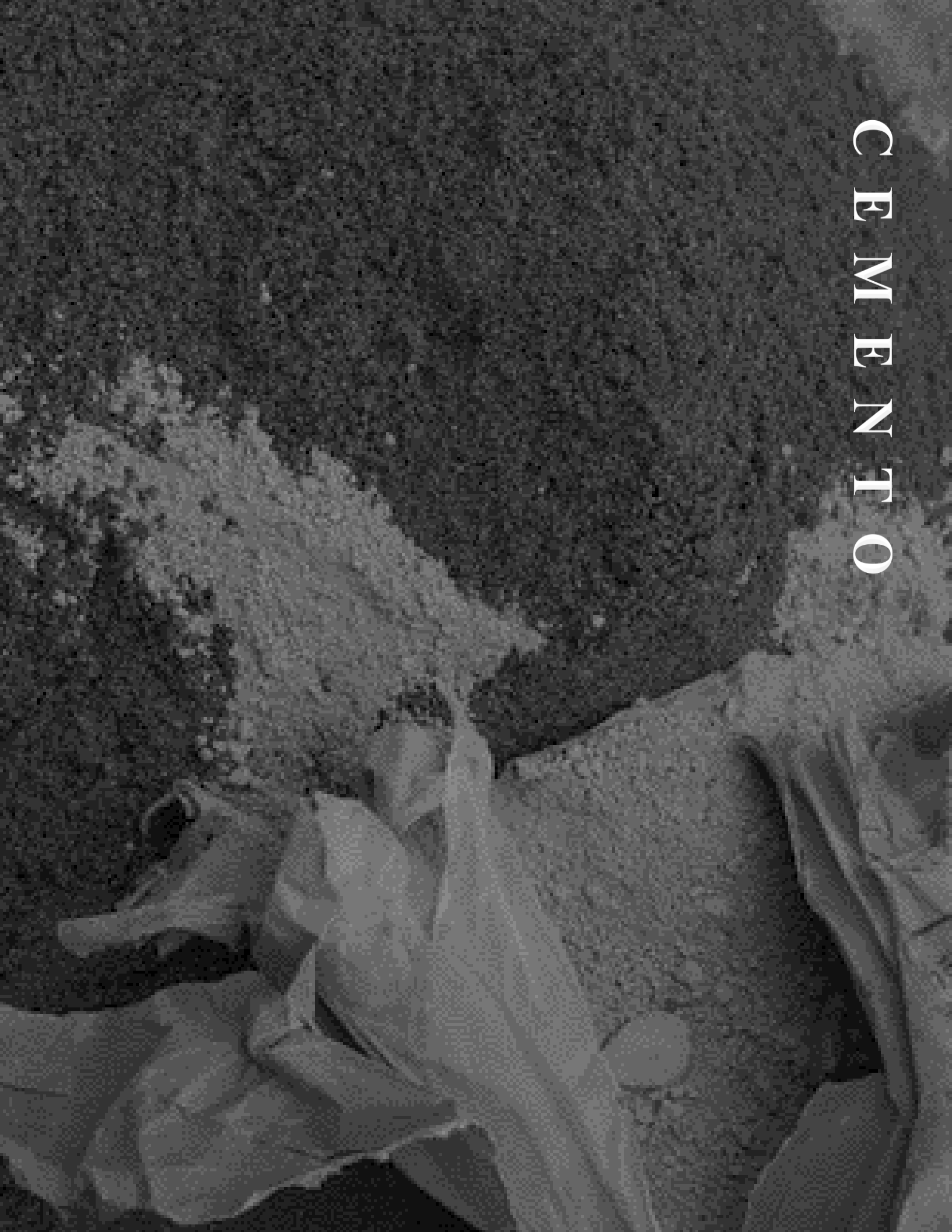
Se ha comprobado que los cementantes con aditivos o materiales provenientes del carbono mejoran notablemente hasta en un 15% la resistencia a la compresión del concreto (Yanturinaa, Trofimova and Ahmedjanov, 2017).

Las pruebas experimentales de concreto con adición de polvo de grafito han demostrado en su mayoría una transformación del material en cuanto a su conductividad. Esta propiedad se incrementa y en consecuencia puede adquirir funciones como percepción de la deformación y reacción contra las bajas temperaturas (Alcaide Romero, 2007). Una forma para elaborar las pruebas es sustituir como agregado fino la arena por el polvo de grafito, agregando mayor cantidad de éste con el objetivo de crear concreto conductor, que puede ser aplicado en carreteras o caminos. Esto se debe a que el polvo de grafito con el concreto tiene la propiedad de responder a las heladas por el aumento de temperatura que presenta al estar expuesto a una energía radiante (sol, calor, electricidad). Tal proceso de elaboración expone los siguientes resultados:

- El polvo de grafito no afecta el proceso ni los productos del concreto en la hidratación.
- Existe una constante en la finura del polvo de grafito y entre más fino sea, la resistencia del concreto tiende a disminuir.

El porcentaje recomendado para agregar el contenido de polvo de grafito deberá ser entre un rango del 1 al 5%. La dosis se especifica de acuerdo a las condiciones ambientales y demandas de cada proyecto (Liu, Wu, Rao, Li, & Xiao, 2019).

C E M E N T O



CAPÍTULO 3.-GRAFITO- CONCRETO

CEMENTO

El cemento es un aglomerante en polvo que al hidratarse con agua inicia reacciones químicas importantes. Esto lo convierte en una pasta moldeable que después de unas horas fragua y tiene un endurecimiento progresivo dentro y fuera del agua, brindándole una consistencia pétreo. Puede considerarse como un material cerámico con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le brindan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un elemento compacto.

La invención del cemento constituyó uno de los más destacados materiales en el uso de la construcción a través de la humanidad. Este material nace en el siglo II a.C. en Roma, cuando se descubre la cal hidráulica que, al estar en contacto con agua, se endurece al estar expuesto al aire. Su constante estudio a través del tiempo, ha tenido consecuencias positivas al enriquecer el cementante original con diversos elementos, obteniendo así un cementante de calidad aceptable.

Existen postulaciones que le dieron al cemento su nombre y sus propiedades actuales. Su nombre es atribuido por Joseph Aspdin en 1824 en la ciudad de Portland, Inglaterra, lugar donde existen piedras semejantes al material cementante, de ahí su nombramiento como "Cemento Portland" (Black, et. al, 2010).

En la actualidad representa el material de construcción más utilizado. Sin embargo, sus usos no solo se limitan a los constructivos, sino que están presentes en ámbitos como la aplicación biomédica en odontología (Black, et. Al., 2010).

A lo largo de la historia, las civilizaciones han hecho uso de morteros, como es el caso del antiguo Egipto (2,700 a.C.) donde utilizaban pastas obtenidas de las mezclas de yesos y calizas disueltas en agua para unir sólidamente sillares de piedra. Otro ejemplo es el cemento puzolánico, obtenido de alúminas y sílices, usado en la antigua Roma para erigir edificios como el Coliseo Romano (82 a.C.) Hasta finalmente el descubrimiento del cemento Portland en 1824, en el que, a través de un hecho fortuito al quemar piedras calizas, el Inglés James Parker, consiguió lo que pensó sería el cemento puzolánico que los Romanos utilizaron (Vidaud, E. 2013). Y aunque en realidad se piensa que el cemento es una tecnología madura, no lo es, debido a sus amplios usos, mezclas y formulaciones, tan solo en el ámbito tradicional.

CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland es el cemento con mayor uso alrededor del mundo. Tan solo en Estados Unidos el 90% de todo el cemento usado corresponde a cemento Portland común (Adam, N. Neville 2013). Su composición comprende cal (CaO), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3) (**Tabla 1**) como materias primas básicas. A través de diferentes proporciones según la composición deseada, se producen distintos tipos de cemento Portland (William. F. Smith, 2006). La materia prima y su fabricación están disponibles casi en todos los países.

El proceso de fabricación del cemento se lleva a cabo en seco o con el empleo de agua. Consiste en moler finamente la materia prima. Su mezcla se lleva a cabo de acuerdo a proporciones específicas y se calcina en hornos rotatorios aproximadamente a $1,450^\circ\text{C}$ de temperatura. El material se sintetiza de tal modo que forma bolas conocidas como Clinker.

El Clinker posteriormente se tritura después de enfriarse, hasta obtener un polvo fino al que se adiciona yeso en menor cantidad para dar paso a lo que es conocido como cemento portland comercial (Adam M. Neville, 2013).

Tabla 1

Composición química del Cemento Portland.

Compuesto	Fórmula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} - \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} - \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Aluminio ferrita tricálcico	$4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ A F

Nota: (Smith, W. F. et. al. 2006).

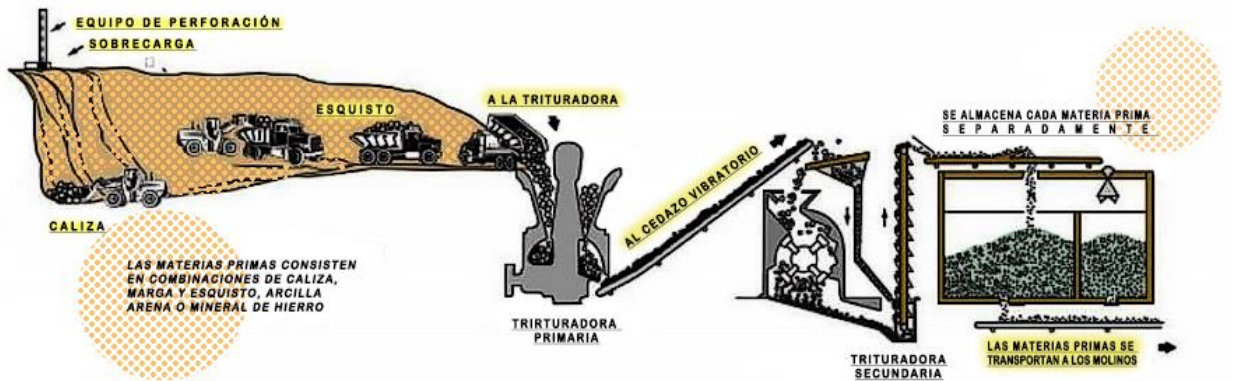
El proceso que ha sido mencionado, por otra parte, significa la liberación de una tonelada de dióxido de carbono por cada tonelada de cemento fabricado, al igual que el desperdicio industrial como lo es la escoria de alto horno, la ceniza volante, o el humo de sílice que son desechados.

Este hecho ha contribuido a la creación de cementantes compuestos los cuales son variaciones del cemento Portland tradicional, el cual es parte del contenido conjunto con desperdicio industrial antes mencionado o puzolana natural. Los cementos Portland compuestos a diferencia de un cemento Portland puro contienen más del 5% de componentes inorgánicos y estos componentes contribuyen a las propiedades de ganancia de resistencia del concreto.

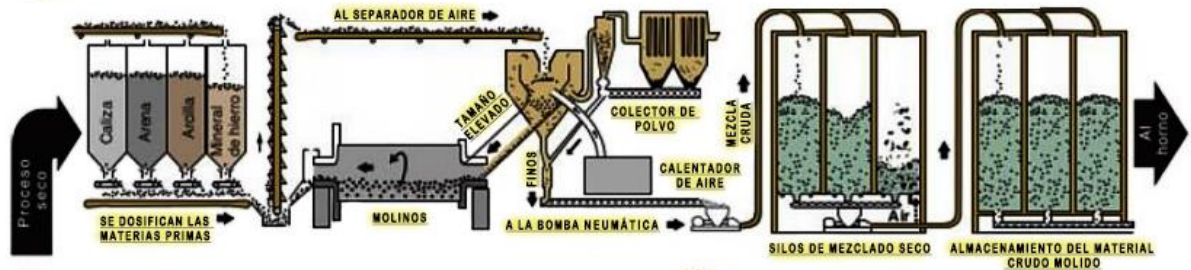
PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND TRADICIONAL

Imagen 3

Fabricación del Cemento Portland, tomado del libro *Diseño y control de mezclas de concreto* del Portland Cement Association.



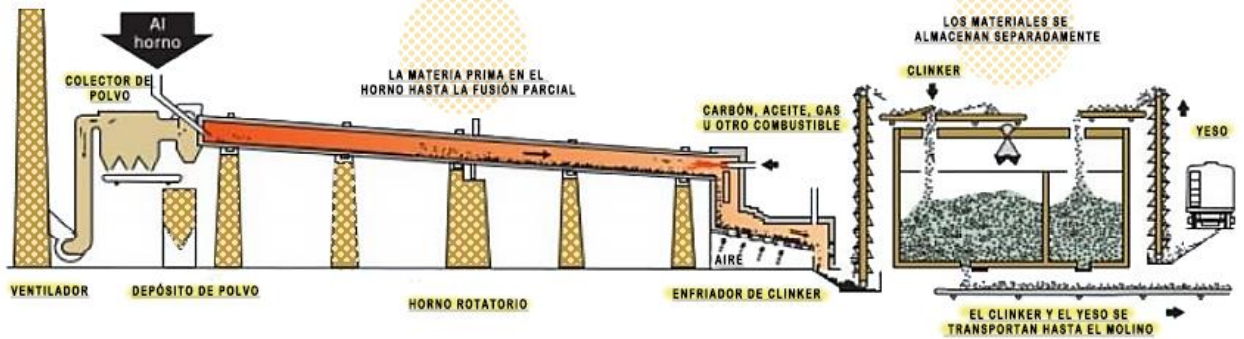
1. LA ROCA SE REDUCE PRIMERO HASTA UN TAMAÑO DE 125 MM (5 PULG.) Y DESPUÉS A UN TAMAÑO DE 20 MM (3/4 PULG.) PARA DESPUÉS ALMACENARCE



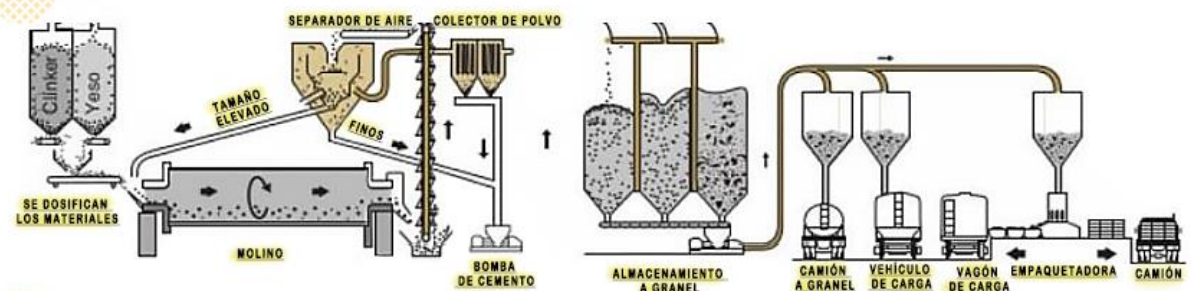
2. LAS MATERIAS PRIMAS SE MUELEN HASTA QUE SE POLVORICEN Y SE MEZCLAN



2. LAS MATERIAS PRIMAS SE MUELEN, SE MEZCLAN CON EL AGUA PARA FORMAR UNA LECHADA Y SE MEZCLAN



3. LA CALCINACIÓN TRANSFORMA QUÍMICAMENTE LAS MATERIAS PRIMAS EN EL CLINKER DE CEMENTO.



4. SE MUELE EL CLINKER JUNTO CON EL YESO PARA CONVERTIRLOS EN CEMENTO PORTLAND Y SE DESPACHA.

FRAGUADO

El término fraguado es empleado para definir el cambio de estado de una pasta de cemento, de estado líquido a sólido. Aunque no debemos confundir el fraguado de una pasta cementante con su endurecimiento, ya que ambos términos tienen diferentes significados, con lo cual, el endurecimiento hace referencia a la resistencia de una pasta de cemento fraguada (Neville, A. M, 2013).

El fraguado tiene distintas etapas que se ven afectadas por la temperatura ambiente. Por ejemplo, en bajas temperaturas el tiempo de fraguado es mayor. Para identificar las etapas,

se realiza una prueba que será detallada más adelante. La pasta de cemento en estado fluido presenta mayor conductividad eléctrica en comparación con una pasta fraguada.

TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Es posible encontrar cinco tipos principales de cemento Portland producidos modificando su composición química.

El tipo I corresponde al cemento Portland de uso común o general. Su uso es recomendable cuando el cemento no será expuesto a la corrosión por sulfatos en suelos o en aguas freáticas.

Cemento Portland Tipo II es empleado cuando existe la posibilidad de un ataque moderado de sulfatos. Por ejemplo, en la estructura de drenaje suele usarse en climas cálidos para estructuras voluminosas como muros de contención y su compuesto es silicato dicálcico.

Tipo III cemento Portland de endurecimiento rápido, genera resistencia rápidamente y se debe describir como cemento de alta resistencia temprana y tomar en cuenta que el tiempo de fraguado de un cemento Portland tipo III es similar al de uso común.

Cemento Portland tipo IV de calor bajo, es utilizado cuando la velocidad y el calor generado durante la hidratación deben reducirse al mínimo. Forma parte de estructuras en donde la cantidad de cemento usado es masivo. Por lo tanto, la cantidad de calor por hidratación puede generar fracturas o agrietamientos críticos. Ejemplo de ello puede ocurrir en una presa hidráulica

Cemento Portland tipo V resistente a sulfatos, es un cemento con aluminato tricálcico reducido. Con la finalidad de reducir las reacciones químicas que dan paso a un ataque de sulfatos, este cemento es empleado cuando está en contacto con suelos y aguas subterráneas con elevado contenido de sulfatos (Smith, W. F. et. al. 2006)(Adam M. Neville, 2013).

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO PORTLAND

Los elementos que conforman al Cemento Portland; es decir, cal, sílice, óxido de fierro y alúmina interactúan dentro del horno para formar productos más complejos hasta alcanzar un punto de equilibrio químico⁸. Principalmente, se consideran 4 elementos componentes del cemento (mostrados en la **tabla 4.**) Y las cantidades reales de los diferentes tipos de compuestos varían de manera considerable de un cemento a otro. Es por ello que en Estados Unidos se planteó el objetivo de establecer las propiedades de los cementos requeridos para diferentes necesidades (Adam M. Neville, 2013).

PRUEBAS DE LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO

El cemento es fabricado bajo controles muy estrictos. Por esta razón es muy común que sean realizadas pruebas de laboratorio en las fábricas o de manera independiente en laboratorios, con la finalidad de que el cemento cumpla con la calidad deseada y las normas de cada país.

⁸ Se trata de un equilibrio químico cuando una reacción química no se completa, esto debido a que los elementos componentes generan productos al mismo tiempo y en ambos sentidos, lo que “neutraliza” la reacción.

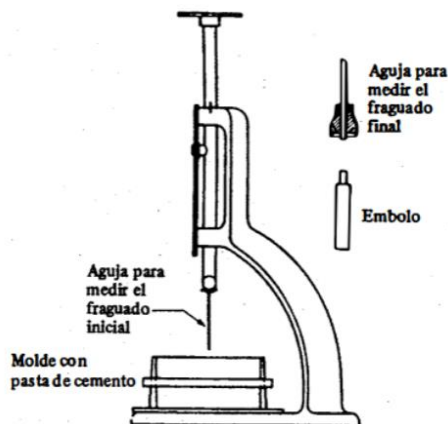
Consistencia de la pasta normal. Esta prueba es realizada con la finalidad de determinar los tiempos de fraguado inicial y final. Es utilizada una pasta pura de cemento de consistencia normal y se mide el contenido de agua necesario para producir la consistencia deseada.

La consistencia se evalúa por medio del aparato de Vicat (**figura 9**), el cual utiliza un soporte de agujas y una plataforma en donde se coloca la pasta experimental y de manera simplificada.

Figura 9

Aparato de Vicat.

Nota: Neville, A. M. (2013). Tecnología del concreto. México, IMCyC, pág.34.



La prueba consiste en permitir que la aguja, por su propio peso penetre la pasta experimental en distintos puntos hasta que el émbolo con la aguja penetra en la pasta hasta un punto distante de 6 ± 1 mm del fondo del molde (Neville, A. M. 2013).

La aguja tiene un diámetro de 1.13 ± 0.05 mm.

Cuando la pasta ha endurecido lo suficiente para no penetrar más allá de $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. de la base, se puede decir que comenzó el fraguado inicial. Por otra parte, el fraguado final se

determina con una aguja similar que penetra a una profundidad de 0.5 mm (Neville, A. M. 2013).

CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO

Actualmente la clasificación de los cementos (**tabla 2**) se realiza de acuerdo a la norma ASTM C-150. En México esta norma es la base de las Normas Mexicanas NMX-C-001, NMX-C-002 y NMX-C-175, las cuales se modificaron a partir del 2004 para clasificar los cementos mexicanos. Aclaramos que esta clasificación solo existe en México y que los demás países utilizan la nomenclatura especificada en la ASTM C-150.

Tabla 2*Clasificación de los cementos y sus características*

Tipo	Denominación	Clase resistente	Características Especiales
CPO	Cemento Portland ordinario	20	RS Resistente a los Sulfatos
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Álcali agregada
CPEG	Cemento Portland con Escoria de Alto Horno	30R (Resistencia Rápida)	BCH Bajo calor de hidratación
CPC	Cemento Portland Compuesto	40	B Blanco
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	40 R	-
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	-	-

Nota: (NMX-C-414.ONNCCE-2004).

CONCRETO



CONCRETO

El concreto es un material compuesto con matriz cerámica, constituido por *cemento Portland*, que, al combinarse con agua, forma una pasta que trabaja como un adhesivo. El material de refuerzo es el agregado granular, constituido por agregados gruesos en un 31 al 51% (grava) y finos en un 24 al 30% (arena). Con la mezcla de estos materiales y un porcentaje del 0.5 al 8% de aire se forma el concreto, que se aplica en diferentes usos, entre ellos y principalmente es en el ámbito de la construcción.

Las ventajas del concreto en la construcción son diversas, dentro de las cuales se pueden mencionar la capacidad de este material para producirlo *in situ*, la economía, su aspecto estético, la resistencia al fuego, su durabilidad y la gran flexibilidad que tiene para ser moldeado. Las desventajas que tiende a presentar son la baja resistencia a la tensión, baja ductilidad y contracción (Smith, W. F. et. al. 2006 674 - 676).

Dentro de los componentes principales del concreto se encuentra el agua, la cual deberá ser agua limpia, ya que esta influirá en su fraguado y con la corrosión del refuerzo. Incluso puede manchar la superficie en caso de contener impurezas. Por lo tanto, el agua no deberá contener sustancias orgánicas e inorgánicas en proporciones excesivas. En suma, el agua potable es apta para realizar la mezcla del concreto.

AGUA

El agua es una parte esencial del concreto ya que junto con los agregados y el cemento constituyen al concreto. Por lo tanto, el agua es la responsable de generar las reacciones químicas de los cementantes del concreto hidráulico, mortero o cemento Portland. El desarrollo de su capacidad conglomerante es utilizado en la elaboración de concreto y mortero. Es necesario añadir agua potable; es decir, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. Dichos requisitos de calidad del agua se encuentran establecidos en la Norma N-CMT-2-02-003-02 las cuales se pueden observar en la **tabla 3**. Solo podrá emplearse agua marina en la fabricación y curado de concretos sin acero de refuerzo o presfuerzo.

Existe una relación entre la cantidad de agregados áridos, cemento y el agua total añadida que se requiere para hidratar la mezcla de manera correcta. Si existiera algún exceso, esto solo aumentaría la fluidez de la pasta y consigo a la manejabilidad. No obstante, al efectuarse el fraguado el agua adicional se evaporará conservando la porosidad en el concreto y disminuirá la resistencia del mismo. La principal razón por la cual el uso de agua marina no es recomendado es debido al incremento del riesgo de corrosión del acero de refuerzo, especialmente en zonas costeras o tropicales. Excepcionalmente está reservado a situaciones inevitables.

Tabla 3

Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua.

Impurezas	Tipo de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistentes a los sulfatos
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2 000	2 000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas ⁹ (Finos de cementos y de agregados), máximo	50 000	35 000
Cloruros como Cl.	400	600
<ul style="list-style-type: none"> • Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo • Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares, máximo 	700	1 000
Sulfato como $SO_4 =$, máximo	3 000	3 500
Magnesio como MG^{++} , máximo	100	150
Carbonatos como $CO_3 =$, máximo	600	600

⁹ Se consideran aguas recicladas aquellas empleadas en el lavado de revolvedoras que contienen una suspensión de alto porcentaje de finos del cemento y agregados.

Bióxido de carbono disuelto como CO_2 , máx.	5	3
Álcalis totales como Na^+ , máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3 500	4 000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido), máximo	150	150
Potencial de hidrógeno (pH), mínimo.	6	6,5

Nota: N-CMT-2-02-003-02 CMT. Características de los materiales, SCT (2002).

Finalmente, el agua vuelve a ser utilizada fuera de la mezcla. Durante el colado su objetivo es mantener el concreto saturado para que se mantenga la hidratación total del cemento y del incremento de su resistencia.

AGREGADOS

El concreto está constituido en gran porcentaje, alrededor del 75%, de agregados, también llamados áridos que son materiales pétreos de origen natural, obtenidos a través de distintos procesos. No obstante, se ha comprobado que ofrecen al concreto una gran ventaja técnica al brindarle mayor durabilidad y estabilidad volumétrica en comparación del uso solamente de pasta de cemento. Las características de los agregados son significativas para el concreto, al proporcionarle características a la mezcla, tales como; porosidad, graduación o distribución de tamaños, absorción de humedad, forma, textura de la superficie,

resistencia a la ruptura, módulo de elasticidad y coloración. Sin embargo, pueden dotar a la mezcla sustancias perjudiciales, por lo cual deben ser estudiadas para obtener concretos de buena calidad.

Se considera como agregado a todo material que no modifique ni afecte desfavorablemente las características y propiedades de la mezcla o genere reacciones químicas con los componentes de la misma. Por el contrario, se busca que mejore la resistencia y garantice adherencia suficiente a la pasta de concreto.

Deben evitarse el carbón de piedra o lignito, terrones de arcilla o materiales que pueden desintegrarse fácilmente, ya que afectan la resistencia del concreto dentro de una mezcla. Es recomendable que existan partículas inconsistentes hasta un máximo 1,0% en agregados finos y un 0,25% en agregados gruesos, de acuerdo a la norma ASTM C 142.

La distribución del tamaño de los agregados se llama granulometría. Consiste en dividir una muestra significativa del agregado de acuerdo a su tamaño. El tamaño varía. Es recomendable tener al menos dos tamaños de agregados en una mezcla de los que unificadamente podemos denominar agregado fino y agregado grueso. El agregado fino corresponde a aquellas partículas con tamaño comprendido de las 75 μ m (Malla N° 200) hasta 4,75 mm (Malla N°4) y son indispensables para la generación de mezclas de mortero y concreto, debido a lo económicos que son y a que no entran en reacciones químicas complejas con el agua. Por ende, es común usarlos como relleno inerte en dichas mezclas.

Su origen es natural y su obtención puede ser mediante trituración o cribado. Por otra parte, los agregados gruesos pueden ser grava natural obtenida mediante trituración o cribado, escoria de altos hornos enfriados en aire con tamaños desde los 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") hasta los 75 mm (3") (N-CMT-2-02-002-02).

Los agregados finos o gruesos pueden tener origen en una masa mayor, provenir de una roca grande y ser triturados, lo cual reduce su tamaño y los convierte en más utilizables y también reduce la cantidad de partículas blandas presentes en el agregado. La norma ASTM C 294-86 enlista como los agregados más comunes o de mayor importancia a los siguientes minerales silíceos: cuarzo, ópalo, calcedonia, tridimita o asmadita y cristobalita **(Véase la Tabla 4)**.

Tabla 4

Agregados de acuerdo a la norma ASTM C 294-86

Agregados, norma ASTM C 294-86

Feldespatos	Óxidos de hierro
Minerales de mica	Minerales arcillosos
Minerales de carbonato	
Minerales de sulfato	
Minerales de sulfuro de hierro	
Minerales ferromagnésicos	
Zeolitas	

Nota: (ASTM C 294-86).

No obstante, la clasificación de los agregados también contempla su modo de obtención, su granulometría o tamaño y su origen, en caso de la norma N-CMT-2-02-002/02, mencionada con anterioridad. Finalmente, también mencionaremos sus propiedades físicas tales como la resistencia.

Determinar la resistencia de un agregado de manera individual no es tarea fácil. Además, la resistencia de los agregados sería menor a la del concreto. Sin embargo, la resistencia al desgaste de un agregado indica con frecuencia la calidad de éste. También la resistencia

está relacionada de manera directa con la estructura de los granos de la partícula, o con el proceso de trituración y obtención.

La materia orgánica es todo aquel producto de la descomposición de vegetales y sustancias carbonosas, también conocidos como humus, presente en los agregados, especialmente en las arenas que por su tamaño suelen alojar comúnmente materia orgánica. Cuando hay presencia de humus en los agregados mediante altos porcentajes se impide total o parcialmente el fraguado del concreto. Por otro lado, con la presencia de terrones de arcilla, carbón, madera, lignito, mica, pueden disminuir la resistencia del concreto y su durabilidad (Gutiérrez de López, Libia 2003).

TRABAJABILIDAD

También conocido como manejabilidad, es un concepto que ha sido mencionado a lo largo del documento. En pocas palabras, la trabajabilidad es una propiedad del concreto anterior al fraguado, que valora la facilidad y homogeneidad con la que se puede manipular, mezclar y colocar el concreto fresco (Carhuavilca Fuentes Et. al. 2020).

La definición de trabajabilidad, sin embargo, no es tan reducida ya que al interior de una mezcla de concreto existe fricción entre las partículas individuales componentes del concreto y a su vez está presente la fricción externa con el molde, por lo que para compactar y liberar el aire al interior de la mezcla es necesario romper la fricción interna de la misma. La trabajabilidad entonces es la cantidad de esfuerzo necesario para romper dicha fricción.

La necesidad de reducir la cantidad de aire al interior de la mezcla fresca, compactarla o bien que sea más densa es porque estos factores tienen una relación directa con la resistencia, un 2% de aire retenido en la misma, reduciría hasta un 10% la resistencia (Adam Neville, 2013).

No hay un método directo conocido para determinar la manejabilidad de una mezcla de concreto, sin embargo, existen pruebas que miden otras propiedades del concreto que se pueden relacionar con este concepto. Por ejemplo, existe el ensayo de revenimiento, mediante el cual se controla la cantidad de agua o aire.

ADITIVOS DEL CONCRETO

El concreto es uno de los materiales más usados en la construcción que requiere controlar su fabricación dentro de obra o en planta, en muchas ocasiones es necesario que el concreto cumpla requerimientos específicos, que sólo pueden ser obtenidos con el empleo de aditivos. Sin embargo, su uso requiere del conocimiento de las condiciones de obra, ubicación, proceso constructivo y aditivos.

Los aditivos se agregan al concreto durante la etapa del mezclado, son productos químicos y su origen puede ser orgánico o inorgánico y es importante destacar que su uso no es un componente importante e imprescindible. A pesar de ello, su uso es cada día más común gracias a los beneficios que otorgan. Algunas de las razones para usarlos son: reducir el costo de la construcción de concreto, mantener la calidad del concreto durante las etapas del mezclado y superar emergencias, por mencionar algunos.

Es importante destacar que no sustituyen un diseño, materiales y mano de obra adecuados. (Instituto Mexicano del Cemento y Concreto IMCyC, 2006) (CEMEX México, n.d.).

CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS

Los aditivos pueden ser clasificados de acuerdo a su efecto, por su parte la norma ASTM C494/C494M-11 reconoce 8 tipos:

Tipo A Reductores de agua o plastificantes. Al ser agregados a una mezcla son absorbidos en la superficie de las partículas aglomerantes haciendo que se repelen entre sí, lo cual tiene efectos positivos en la trabajabilidad. Los principales tipos de plastificantes son los ácidos lignosulfónicos y sus sales, los ácidos carboxílicos hidroxilados, sus sales y las modificaciones de ambos. La dosis típica de un plastificante varía de 200 ml a 450 ml por cada 100 kg de material cementante.

Tipo B Retardador de fraguado. Estos aditivos disminuyen la velocidad de la reacción química del cemento con el agua, conduciendo a tiempos más largos de fraguado. Son usados en temperaturas elevadas, cuando el concreto debe transportarse por largos periodos de tiempo y para evitar juntas frías debido a la duración de la colocación.

Los retardadores más comunes son los ácidos carboxílicos hidroxilados, borax, lignina, azúcar y otros fosfatos. Las dosis de empleo están entre 150 ml y 500 ml por cada 100 kg de material cementante.

Tipo C Acelerador de fraguado. Estos aditivos aceleran la reacción química del cemento y el agua y de este modo aceleran la resistencia temprana del concreto, dentro de los principales aceleradores están el cloruro de calcio¹⁰, el formiato de calcio, ceniza de sosa, cloruro de potasio, entre otros. Las dosis en aceleradores tienen cloruro de calcio en un 2% de la masa de todos los materiales cementantes. Se añaden disueltos en agua, o en una solución de cloruro de calcio. Para aceleradores sin cloruro de 500 ml a 2,000 ml por cada 100 kg de material cementante. Por último, los aceleradores de concreto lanzado actúan de forma casi instantánea, por lo que es recomendable seguir las indicaciones del proveedor respecto a la dosis.

Tipo D Reductor de agua y retardador. Es un aditivo líquido que permite al concreto fresco una alta reducción de agua y obtener altas resistencias. Actúa también como retardante de fraguado por lo que brinda una consistencia fluida y trabajabilidad.

La dosificación recomendada es un rango de 0.02% al 0.6% y debe incorporarse a la mezcla durante la última etapa del amasado.

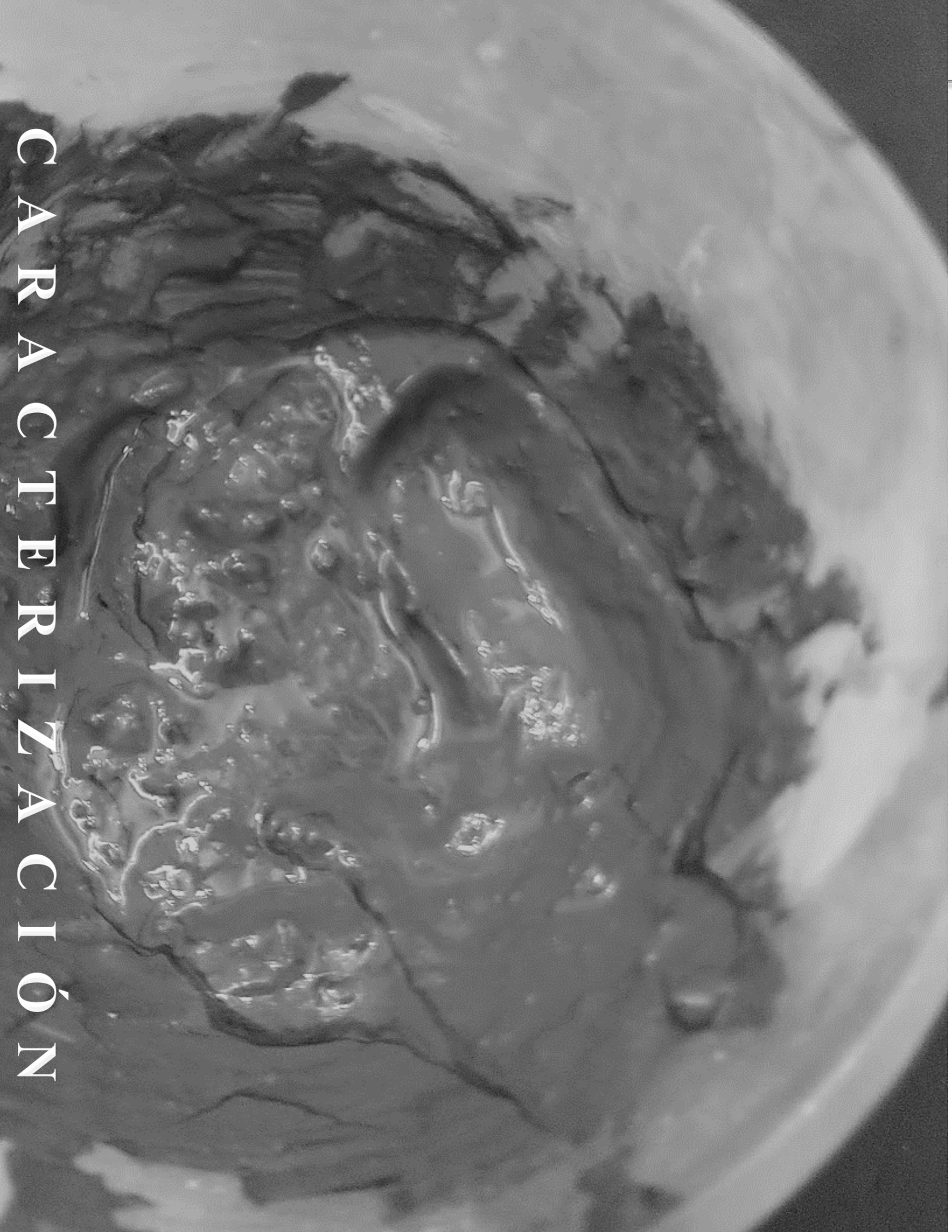
Tipo E Reductor de agua y acelerador. Esta variedad de aditivos cumple una doble función, ya que aumenta la trabajabilidad del concreto al plastificar la mezcla, mientras que acelera la ganancia de resistencia a temprana edad.

¹⁰ El cloruro de calcio tiene desempeño razonable, sin embargo, tiende a promover la corrosión del acero en el concreto.

Tipo F Reductor de agua de alto rango o superplastificante. Permite la reducción del agua en la mezcla en más de un 12%, este aditivo tiene una categoría superior a los aditivos plastificantes ya que permiten dosificaciones hasta 5 veces mayores sin alterar el tiempo de fraguado del concreto. El principal uso de este tipo de aditivos se encuentra en el empleo de concretos de altas resistencias.

Tipo G Reductor de agua de alto rango y retardador. También conocido como súper plastificante retardante. Aplicado es posible una reducción en más de 12% de agua para obtener una determinada consistencia en el concreto y además retardar el tiempo de fraguado. Este aditivo es utilizado en mezclas que necesitan largos periodos de transporte antes de ser empleados.

Tipo S Aditivos con características especiales. Acelera el fraguado mediante la reducción de agua hasta en un 12%, también se obtiene una resistencia temprana y una mejor trabajabilidad. Estos aditivos son aplicados comúnmente a proyectos de elementos prefabricados y concreto lanzado (IMCyC, 2006) (CEMEX México, n.d.) (Silva, O, J. 2020).



CARACTERIZACIÓN

CAPÍTULO 4.- EXPERIMENTACIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO

La dosificación para el diseño de la mezcla de concreto se realiza con base en el método ACI 211.1-91. En este diseño de mezcla se emplean análisis previos que determinan la calidad de los materiales, el tamaño de los agregados pétreos, su peso volumétrico, entre otros. La finalidad es diseñar adecuadamente la mezcla del concreto, donde es importante conocer el porcentaje de material necesario para cada tipo de mezcla, ya sea para las probetas de concreto simple (CS Probetas de control) o las de concreto modificado con grafito (CG).

GRANULOMETRÍA

La granulometría es un procedimiento mecánico donde se separan las partículas que constituyen un agregado, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño. Este análisis se realiza mediante prácticas de granulometría donde se utilizan tamices que son una serie de recipientes esmaltados a través de las cuales se hace pasar una muestra de agregado que sea fino o grueso mediante distintas aberturas de mallas y su fabricación está regulada por la norma ASTM E-11 e ISO 3310-1.

El procedimiento de tamizado se basa en agitar en movimientos focales un agregado dentro de los tamices, para separar sus partículas de acuerdo a una clasificación de mallas (véase **tabla 5**) que van del N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100. Para este proceso se utiliza una tamizadora que sustituye el tamizaje manual a través de movimientos circulares horizontales y de golpeteo vertical con tiempos de análisis de 20 a 30 minutos.

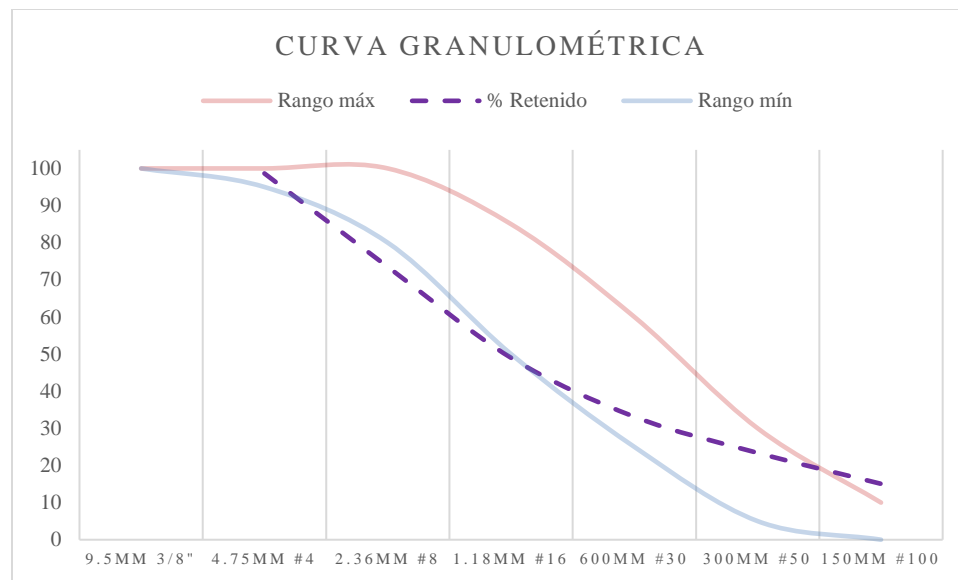
Tabla 5*Granulometría para una muestra de 800 gr. de arena*

Porcentajes acumulados de arena después del proceso de tamizado						
Límites			Arena Caliza			
Rango mínimo	Rango máximo	No. de Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	%Volumen	%Retenido
100	100	#4	4.75	6.7	1.35	98.65
95	100	#8	2.36	125.1	25.16	73.5
80	100	#16	1.18	121.8	24.49	49
50	85	#30	0.6	79	15.89	33.12
25	60	#50	0.355	48.4	9.73	23.39
5	30	#100	0.15	41.4	8.32	15.06
0	10	Fondo		74.9	15.06	0
Total				497.3	100	
Módulo de finura						2.93

Nota: Los valores de granulometría fueron proporcionados por el Mtro. en Arq. Antonio Tahuiton Mora, técnico académico del Laboratorio de Materiales y Sistema Estructurales (LMSE) de la facultad de Arquitectura, UNAM.

Gráfica 1

Curva Granulométrica de la arena caliza.



Nota: En la **gráfica 1** acorde a la **tabla 5** se observa el rango mínimo y el rango máximo que permite la granulometría de un agregado fino, que conforme a la norma ASTM C-33 entre más uniforme sea la granulometría del agregado, serán más satisfactorios los resultados para una mezcla de concreto.

La línea morada representada en la **gráfica 1** es el resultado del estudio granulométrico de la arena caliza, que indica estar en un promedio del 5% abajo del rango mínimo estricto; pero está dentro del rango de finura (2.93) con base en la normativa NMX-C-077-ONNCCE, que indica un módulo de finura de 2.3 a 3.1.

Esta variable nos sirve también para determinar el módulo de finura de nuestra arena de acuerdo a la norma NMX-C-077-ONNCCE.

Con los datos anteriores se procede a obtener el módulo de finura conforme a la siguiente fórmula, la cual nos da como resultado

$$MF = \frac{\sum \% \text{acumulado } (\#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100)}{100}$$

Sustituimos los valores en la ecuación.

$$MF = \frac{(98.65 + 73.5 + 49 + 33.12 + 23.39 + 15.06)}{100} = 2.93$$

Para determinar la granulometría de la grava se tomará una muestra de 800 gr. de grava y se consideran únicamente las mallas #4, 1/4", 3/8", 1/2" y 3/4", de las cuales se obtiene la distribución mostrada en la **tabla 6**.

Tabla 6

Granulometría para una muestra de 800 gr. de grava.

Porcentajes acumulados de grava después del proceso de tamizado

Malla No.	Abertura(mm)	Peso(gr.)	%Retenido	%Acumulado
3/4	19.1	104.88	13.11	13.11
1/2	12.7	262.8	32.86	45.97
3/8	9.52	220.4	27.5	73.47
1/4	6.35	120.9	15.12	88.59
#4	4.75	63.2	7.9	96.49
Fondo		25.5	3.1	99.59
Total		797.7	99.59	

De acuerdo a los valores obtenidos es posible determinar un tamaño máximo del agregado (TMA) de 3/4" y se define un tamaño máximo nominal del agregado (TMN) de 3/4.

Con los datos anteriores se procede a obtener el módulo de finura conforme a la siguiente fórmula, la cual nos da como resultado:

$$MF = \frac{\sum \% \text{acumulado (3/4,1/2,3/8,1/4,\#4)}}{100}$$
$$MF = \frac{(13.11+45.97+73.47+88.59+96.49)}{100} = 3.17$$

PESO VOLUMÉTRICO DE LA ARENA Y LA GRAVA

Para determinar la relación de cantidades entre agregados y agua para el diseño de mezcla, es necesario conocer las propiedades físico - mecánicas. El peso volumétrico es una de ellas y corresponde a la correlación entre el volumen que ocupa un material y su peso (densidad).

Se pretende conocer el peso volumétrico de los áridos principales que conforman una mezcla de concreto. Estos son la grava y la arena. El peso volumétrico se obtendrá bajo el procedimiento que rige la norma ASTM C29/C29M-09 denominada *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. Para el diseño correcto de la mezcla de concreto es esencial disponer del peso específico ya que es la "relación del peso del agregado respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua" (de Jesus Herrera Joel, et. al. Ma 2014).

El método cubre la determinación de la mayor densidad de agregado en una condición compactada o suelta y los vacíos presentes entre las partículas, ya sea en agregados finos,

gruesos o mixtos. El método es aplicable a los agregados no superiores a los 125 mm (5 in), en tamaño máximo nominal y consiste en llenar el recipiente de peso volumétrico y pesarlo, posterior a ello se compacta el material con la varilla punta de bala, se llena nuevamente y se enrasa, posterior a ello se vuelve a pesar, esto se realiza con el fin de obtener los valores necesarios. Para poder determinar el peso volumétrico (**tabla 10 y 11**), es necesario recurrir a la fórmula donde:

$$P_v = \frac{P_r}{V_r}$$

$$V_r$$

Pv = Peso volumétrico,

Pr = peso de recipiente con material compactado,

Vr = volumen del recipiente

Tabla 10

Cálculo del peso volumétrico de grava gris en su estado compacto y seco suelto.

Peso volumétrico grava gris	
Pvs	Pvc
Peso volumétrico seco suelto (kg/m ³)	Peso volumétrico seco compacto (kg/m ³)
1,591	1,468

$$P_{vs} = \frac{1591 \text{ kg/m}^3}{4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 0.0259 \text{ kg/m}^3$$

$$015.6 \text{ gr/m}^3$$

$$P_{vc} = \frac{1,468 \text{ kg/m}^3}{4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 0.0144 \text{ kg/m}^3$$

$$014.4 \text{ gr/m}^3$$

Tabla 11

Cálculo del peso volumétrico de la arena 800 gr. en su estado compacto y seco suelto.

Peso volumétrico grava gris	
P _{vs}	P _{vc}
Peso volumétrico seco suelto (gr)	Peso volumétrico seco compacto (gr)
678 gr	704 gr

$$P_{vs} = \frac{678 \text{ gr}}{4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 0.0150 \text{ kg/m}^3$$

$$015.0 \text{ gr/m}^3$$

$$P_{vc} = \frac{704 \text{ gr}}{4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 0.0156 \text{ kg/m}^3$$

$$015.6 \text{ gr/m}^3$$

CONCRETO SIMPLE

El diseño de la mezcla de concreto se encuentra bajo el método ACI 211.1-91 91 *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Para el diseño de la mezcla de concreto se consideran los datos obtenidos anteriormente:

- Módulo de finura de la arena, 2.93
- Densidad de cemento 3.15 kg/m^3
- Densidad de arena 2.589 kg/m^3
- Densidad de grava 2.732 kg/m^3
- Absorción de arena 3.24%
- Absorción de grava 0.042%
- Humedad de grava 0.003%
- Humedad de arena 0.05%
- TMA 1/2-12.7mm
- TMN 3/4

De acuerdo a los datos anteriores se procede a determinar la cantidad de agua necesaria para un $f'c$ de 250 kg/cm^2 la cual se obtiene de acuerdo a la **tabla 12**. Correspondiente al método (ACI 211.1-91 91).

Tabla 12

Contenido de agua y aire aproximados para diferentes Tamaños máximos nominales de los agregados.

Revenimiento (asentamiento)(mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregados indicados							
	9.5mm	12.5mm	19mm	25mm	37.5mm	50mm	75mm	150mm
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207.470	198.798	186.882	177.983	163.151	154.252	130.521	112.723
75 a 100	228.411	216.546	201.714	192.815	177.983	169.084	145.353	124.588
150 a 175	243.243	228.411	213.58	201.714	186.882	177.930	160.185	
Más de 175								
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota: (Tabla 6.3.3 ACI).

Con base en la tabla citada se obtiene un total de 201.7 litros los cuales son necesarios para un revenimiento de 75 a 100 mm y son tomados a partir del TMN el cuál es de 3/4 “ (19mm).

Obtenidos los valores anteriores se procede a determinar la relación agua cemento de acuerdo a la **tabla 13**.

Tabla 13

Relación agua cemento y resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a compresión a los 28 días kg/ cm ²	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido porcentaje
450	0.38	0.31
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.72

Nota: (ACI 211.1-91 91).

Con respecto a la **tabla 13**. para un concreto $f'c$ 250 kg/cm² es necesaria una relación agua cemento a 0.62, con la cual se obtiene la cantidad de cemento necesaria para 1 m³ de concreto, para obtener el valor de la relación agua cemento es requerida la siguiente fórmula:

$$C = \frac{A}{Rac}$$

Donde:

C = Cemento

A = Agua

Rac= Relación agua cemento

Se procede a sustituir los datos obtenidos en la ecuación anterior:

$$C = \frac{A}{Rac}$$

Para determinar la cantidad requerida de agregado grueso es necesario el módulo de finura el cual es de 2.93 y el peso volumétrico de la grava el cual es de 1500 kg/m³, de acuerdo a los datos anteriores consultaremos los valores de la **tabla 14**.

Tabla 14*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

Tamaño máximo nominal del agregado en mm (pulg.)	Volumen de agregado seco por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	.62	0.60
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5(1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: (ACI 211.1-91 91)

Con base en la **tabla 14**, se cuenta con un valor de 0.66 correspondiente al módulo de finura de 2.93. Para obtener la cantidad necesaria se requiere multiplicar el factor 0.6 por el peso volumétrico del material, el cual arroja:

$$\text{Determinación de agregado grueso} = (0.66) * (1500 \text{ kg}) = 990 \text{ kg}$$

Es necesario determinar la cantidad de arena por peso volumétrico, la cual requiere convertir los valores antes mencionados, en metros cúbicos, esto se obtiene multiplicando el peso del material por su densidad, tal como se observa en la **tabla 15**.

Tabla 15

Conversión de materiales de metro cúbicos a litros y kilogramos

Materiales	m^3	Conversión
Agua	0.2017	201.7 L
Cemento	0.1030	325.30 kg
Grava	0.4248	990 kg
Arena	0.2705	641.085

Teniendo los valores absolutos se requiere la sumatoria de los materiales en m^3 y se le resta un metro cúbico, el cual arroja el valor necesario de agregado fino por metro cúbico.

$$\text{Arena} = 0.2705 \text{ m}^3 = \mathbf{641.085 \text{ kg}}$$

Para realizar las pruebas se requiere de un volumen de 0.015 m^3 de concreto tomando a consideración un desperdicio del 10% para un total de 15 probetas de concreto simple con dimensiones de 0.10 m x 0.10 m.

Teniendo el volumen necesario se multiplica por las dimensiones de los especímenes, que se muestran en la **tabla 15**.

Tabla 16

Material necesario para 15 especímenes de control (CS)

Materiales	Material necesario
Agua	10.70 kg
Cemento	16.60 kg
Grava	5.43 kg
Arena	3.95 kg

Nota: Los especímenes de control (CS) serán elaborados en 3 fases, por lo que el material necesario para elaborar las 5 probetas CS se muestra en la **tabla 16**.

CONCRETO MODIFICADO CON GRAFITO

Para la mezcla de concreto modificado con grafito (CG) se toma como base el diseño de mezcla del concreto simple, añadiendo el 1% de grafito con respecto al peso del cemento, con respecto a este establecimiento la dosificación para 15 probetas de concreto modificado con grafito se muestra en la **tabla 17**.

Tabla 17

Material necesario para especímenes de 15 cubos de concreto modificado con grafito (CG)

Materiales	Material necesario
Arena	9.616 kg
Grava	14.85 kg
Cemento	4.87 kg
Agua	3.0255 kg
Grafito	54.76 gr (0.054) kg

PRUEBAS MECÁNICAS



ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio se rigen por normas internacionales y nacionales. Son realizados a los materiales y son útiles para obtener datos relacionados al estudio de sus propiedades. Estos ensayos se dividen en no destructivas y destructivas.

Las pruebas no destructivas son aquellas que no modifican la química y/o física del material:

- Microscopía
- Ultrasonido
- Rayos X
- Magnético
- Eléctrico
- Acústico
- Electromagnético

Las pruebas destructivas son aquellas que alteran el material en su forma y estructura. En las cuales destaca el estudio del comportamiento mecánico del mismo al ser sometido a esfuerzos externos como tracción, compresión, flexión o su conjunto. La respuesta del material a estos esfuerzos determina su deformación elástica y plástica hasta su rotura:

- Cizalladura
- Impacto
- Tracción

- Dureza
- Torsión
- Fatiga
- Compresión

El comportamiento mecánico de los materiales es importante para conocer el funcionamiento del material a estudiar y determinar propiedades como el límite de fluencia o elástico, su dureza, la resistencia a la fatiga o la rotura; por mencionar algunos (Hernández et al.,2019).

Para la elaboración del estudio de la resistencia a la rotura, en esta investigación se realizará la prueba destructiva de compresión. Esta prueba consiste en disponer de una probeta del material a medir y se le aplican fuerzas aplastantes hasta llegar a la rotura y se rige por la norma internacional ASTM C 39. Sin embargo, nos adscribiremos por la norma nacional NMX-C-083-ONNCCE-2014 *Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes*; en la cual será necesario utilizar de acuerdo a dicha norma, una máquina universal.

PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Al realizar el ensayo de compresión se obtiene una gráfica de esfuerzo-deformación; que se compone por:

Esfuerzo. Se relaciona con las cargas y fuerzas a las que se encuentra sometido un material y se ubica en el eje de las ordenadas.

Deformación. Es causado por someter un material a un esfuerzo constante o intermitente a una velocidad alta o baja y puede ser reversible o irreversible. Este se localiza en el eje de las abscisas.

De acuerdo a cada material la gráfica de esfuerzo-deformación varía y coincide en sus componentes ya que se integra por dos regiones importantes que son la región elástica y la región plástica.

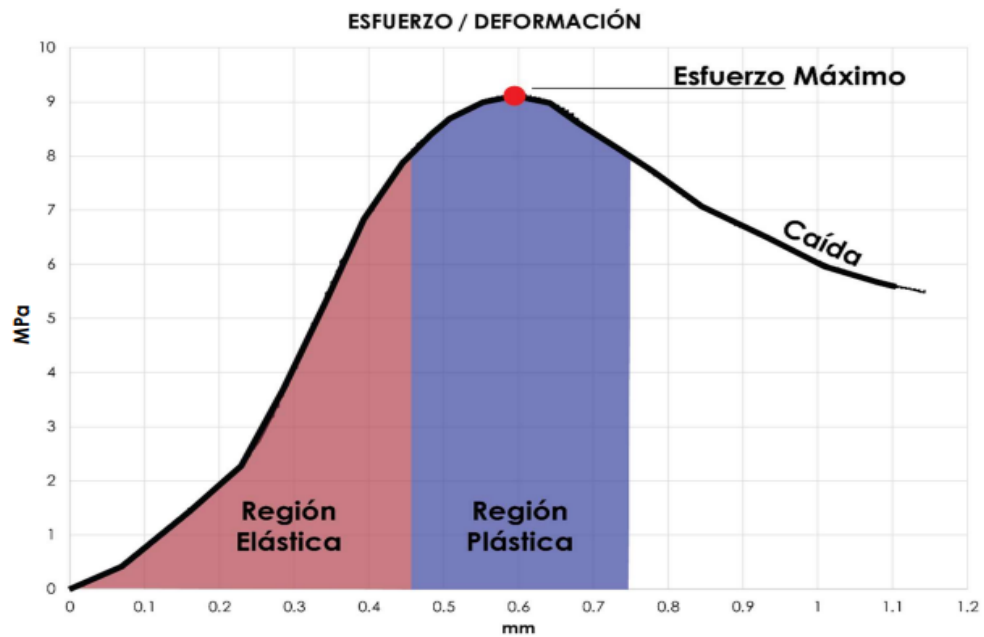
La región elástica se identifica por la línea que va desde el origen hasta el punto de flexión de la misma. Esto quiere decir que el esfuerzo inducido y la deformación mantienen una razón constante con la otra. A medida que el espécimen en cuestión, aumenta su resistencia se incrementará su inclinación positiva en el eje de las ordenadas. Al contrario, la línea tendrá una pendiente que tiende al eje de las abscisas.

La región plástica inicia donde la línea se intersecta con la curvatura y su culminación dependerá del material estudiado. En el caso del concreto dicha región finaliza cuando la curva desciende al mismo nivel del punto inicial. Para el concreto esto se puede interpretar que el material al alcanzar su resistencia máxima (señalado

como el ápice de la curva, **imagen 18**), sin que se produzca la fractura total de la probeta, su deformación es irreversible. En la gráfica de esfuerzo-deformación del concreto, **la caída** se identifica como la pendiente en declive hasta su punto final.

Imagen 18

Componentes de la curva Esfuerzo- Deformación



Nota: Imagen interpretada por Tahuiton Mora (2018) con base en la obra de Arthur H. Nilson (2001).

A black and white photograph showing a large, irregular pile of rubble or debris in the foreground. The debris appears to be broken concrete or masonry. In the background, there is a building with a window. The window has a frame with several panes, and the glass is dark, possibly reflecting the sky or being broken. The overall scene suggests a site of destruction or demolition.

EXPERIMENTACIÓN

MÉTODO EXPERIMENTAL

Para iniciar las pruebas se elaboró un protocolo en el cual se mencionan los instrumentos que se ocuparon para la obtención de los cubos de concreto, con el diseño de mezcla referido en el apartado 4.1 de este documento. Éste se apegó de acuerdo a la norma ACI 211.1-91 91, la cual fue nuestro control para incluir en la mezcla experimental, el 1% de grafito y así poder comparar los resultados.

En la experimentación se utilizaron moldes cúbicos de 100 mm porque la norma **NMX-C-155-ONNCCE-2014**, indica que existe una mayor eficiencia en el uso de estas formas por su maniobra práctica y su estudio de resistencia a la compresión.

Las pruebas se realizaron a los 7, 14 y 28 días de acuerdo a la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014** que establece los días para el ensayo de probetas de concreto.

Imagen 4

Edad de ensayos a la compresión según NMX-C-083-ONNCCE-2014

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible
24 h	$\frac{+}{-} 0.5 \text{ h}$
3 días	$\frac{+}{-} 2 \text{ h}$
7 días	$\frac{+}{-} 6 \text{ h}$
14 días	$\frac{+}{-} 12 \text{ h}$
28 días	$\frac{+}{-} 20 \text{ h}$
90 días	$\frac{+}{-} 48 \text{ h}$

Nota: Recuperada de NMX-C-083-ONNCCE-2014.

Para dar paso al procedimiento de la realización de mezclas de concreto, se identificaron y pesaron los materiales.

Imagen 5

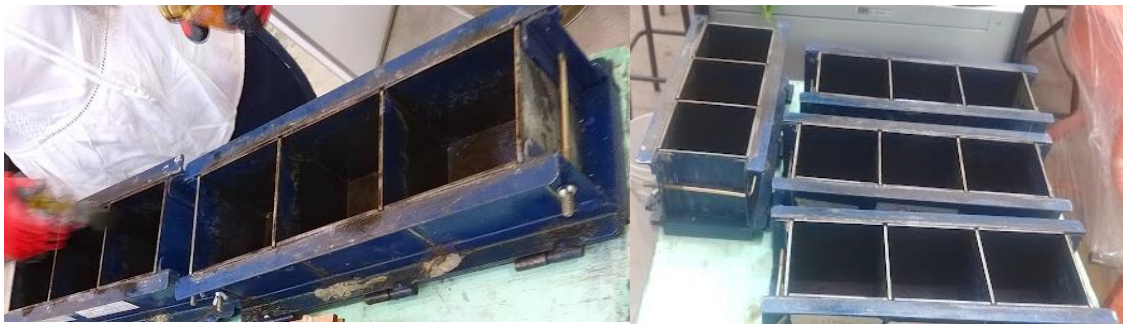
Identificación de materiales para realización de mezclas



Posteriormente, preparamos los moldes para colar las probetas de concreto. Dicho paso consistió en la limpieza y construcción del molde; seguido de la aplicación de aceite requemado en la totalidad de aristas de los moldes. Para facilitar su desmolde, la **imagen 6**, describe visualmente el proceso de elaboración.

Imagen 6

Preparación de moldes para vaciado de concreto



La mezcla se realizó por medios mecánicos y se inició con el vaciado de los materiales áridos en el trompo. Cuando los materiales áridos se integraron se vertió el agua. La mezcla de control duró 8 minutos en la revolvedora, como se puede observar en la **imagen 7**. En

el caso de la mezcla de experimentación; la técnica difirió ya que el 1% de grafito se añadió cuando se observó una mezcla incorporada y su tiempo de duración fue de 9 minutos.

Imagen 7

Procedimiento de elaboración de mezclas



Se colaron piezas de concreto de ambas mezclas en las probetas mostradas en la **imagen 6** y a continuación se varillaron las probetas para evitar burbujas de aire en la mezcla y asegurar su distribución en los moldes.

Imagen 8

Vaciado, varillado y enrase de la mezcla.



Los especímenes de control y grafito se desencofraron a las 24 horas de su realización, con referencia a la norma **NMX-C-159-ONNCCE-2016** y se ensayaron en una máquina universal para conocer su resistencia.

Imagen 9

Desmolde de las piezas de la mezcla de control y de grafito.

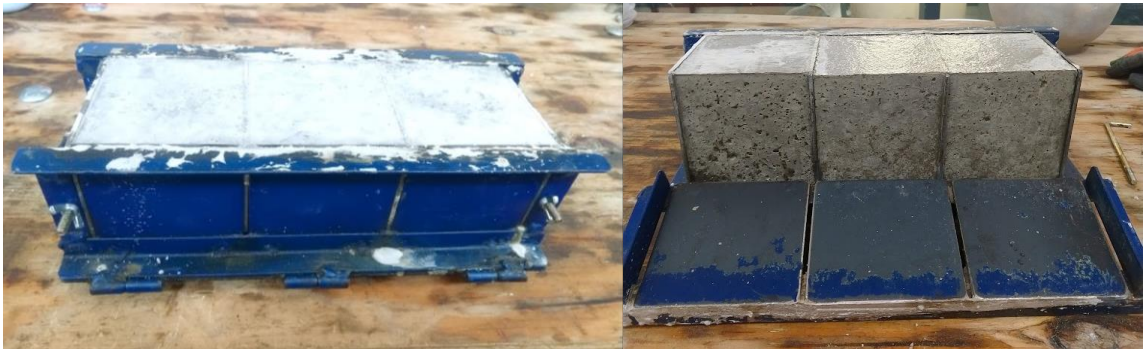
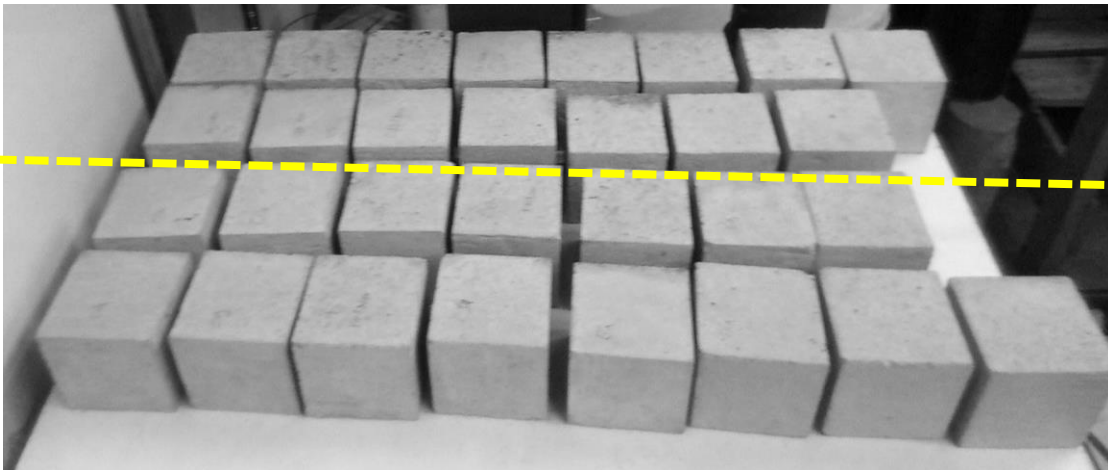


Imagen 10

Especímenes de control (15) parte superior y especímenes con grafito (15) parte inferior.

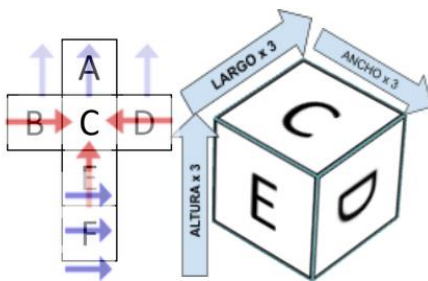


En la **Imagen 10** se puede observar el total de 30 especímenes de concreto, 15 especímenes para la mezcla de control y 15 probetas para la mezcla con 1% de grafito (5 especímenes para 7 días, 5 especímenes para 14 días y 5 especímenes para 28 días).

MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS

Imagen 11

Desglose del método de medición en los especímenes CS y CG



Cada cubo de concreto (especímenes de control CS y especímenes con adición de grafito CG) se midió en tres magnitudes: en altura, ancho y largo. Estos datos se tomaron para procesarlos en la máquina universal

y así obtener las gráficas de comportamiento ante un esfuerzo resistente a la compresión.

Nota: Las flechas rojas que señalan el punto C indican las mediciones en altura de un cubo de concreto, mientras que las flechas azules que están sobre el punto A, indican el largo en tres puntos de la cara del cubo y el ancho señalado en el punto F tomando tres puntos de una cara de dicho cubo. Cabe señalar que para fines explicativos se señaló en la **imagen 11** el desglose de las medidas realizadas en diferentes caras del cubo, pero en la práctica estas medidas se hacen en la cara más plana que estuvo cubierta por el molde o cimbra del cubo de concreto, nunca en la cara que quedó expuesta después del fraguado.

Seguido al procedimiento referido cada pieza de concreto, se pesó en una báscula y así registrar en total los datos para determinar el volumen, densidad, peso y resistencia.

Imagen 12

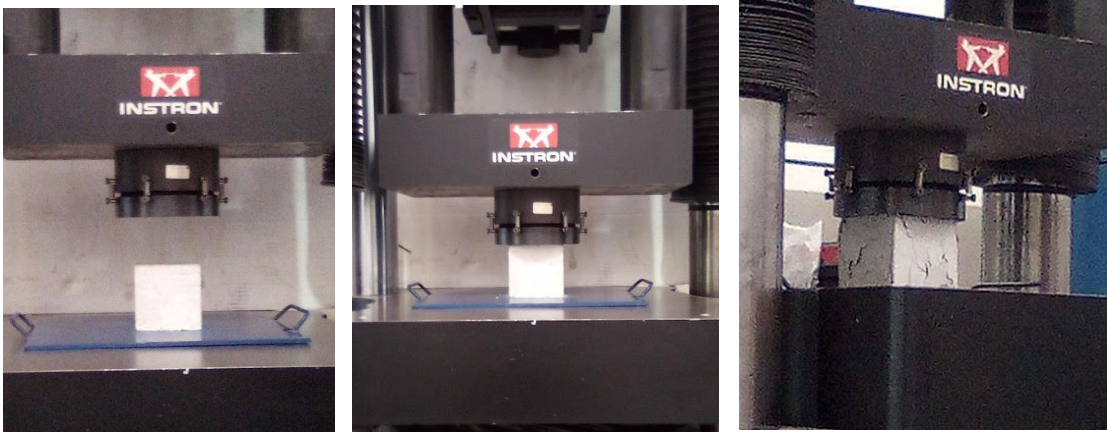
Registro de los pesos de cada muestra de concreto



Con referencia a la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014**, las probetas se ensayaron en una máquina universal y se colocaron centradas en la platina con las caras más planas y regulares con las que se formaron en el molde.

Imagen 13

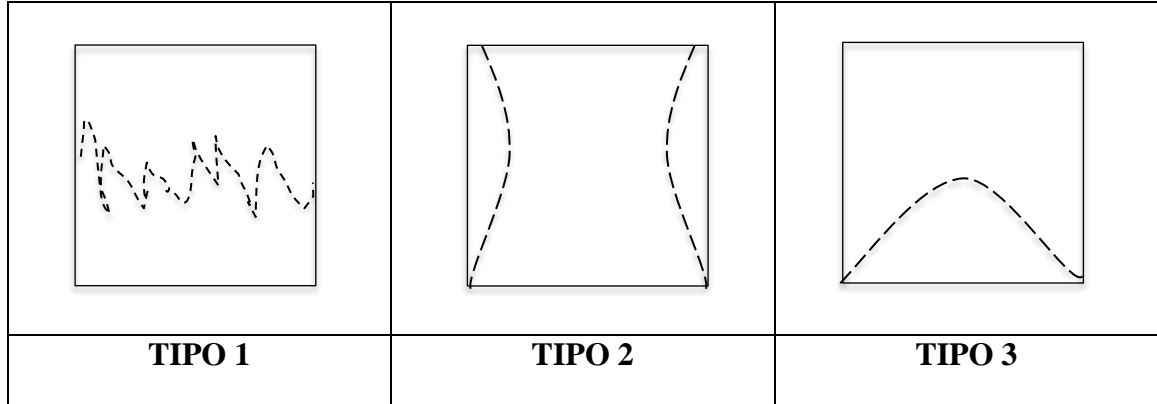
Ensayo de las pruebas de compresión de los cubos de la mezcla de control y de grafito.



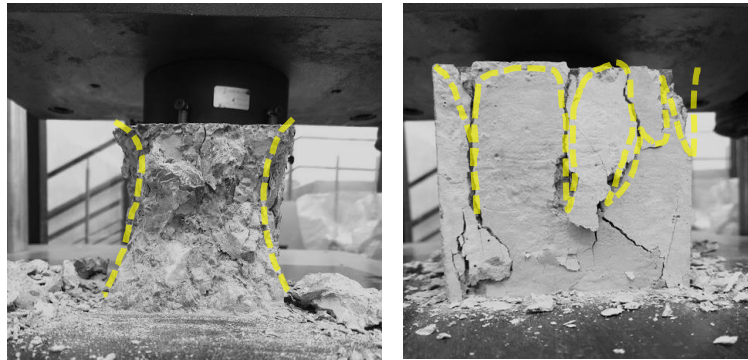
Alusivo a la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014** se analizaron las fallas de rotura esperadas para los cubos de concreto y que se describen a continuación.

Imagen 14

Rotura esperada en especímenes cúbicos de concreto

**Imagen 15**

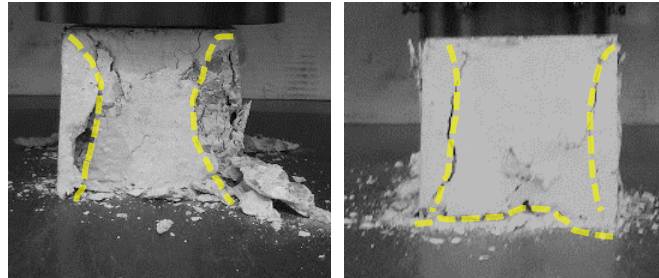
*Falla esperada de las pruebas cúbicas a los 7 días con relación a la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014***



Nota: A la derecha se observa la pieza perteneciente a la mezcla de control con una falla de tipo 1, mientras que a la izquierda se ubica la pieza concerniente a la mezcla de grafito con una falla tipo 2.

Imagen 16

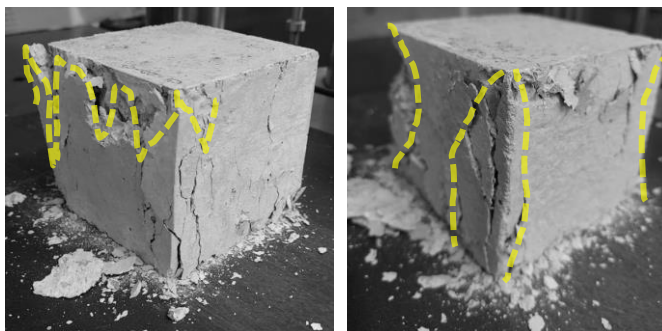
Falla esperada de las pruebas cúbicas a los 14 días con relación a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014



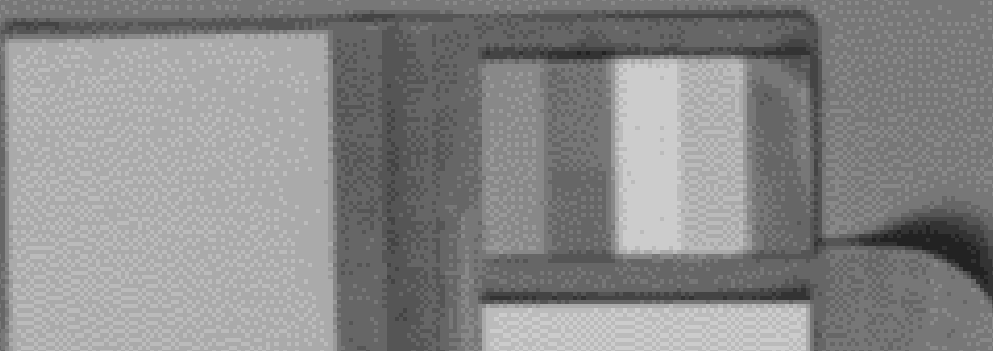
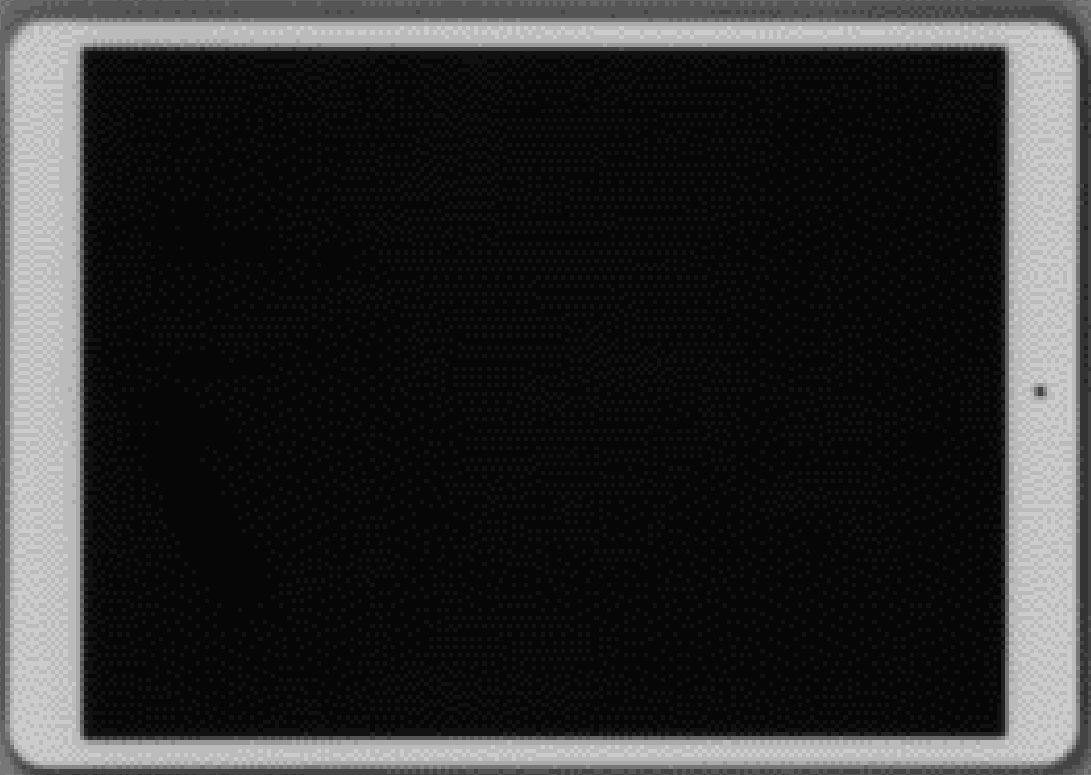
Nota: A la derecha se observa la pieza perteneciente a la mezcla de control con una falla de tipo 2 y 3, mientras que a la izquierda se ubica la pieza concerniente a la mezcla de grafito con una falla tipo 2.

Imagen 17

Falla esperada de las muestras a los 28 días con relación a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014



Nota: A la derecha se observa la pieza perteneciente a la mezcla de control con una falla de tipo 2, mientras que a la izquierda se ubica la pieza concerniente a la mezcla de grafito con una falla tipo 1.



RESULTADOS

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

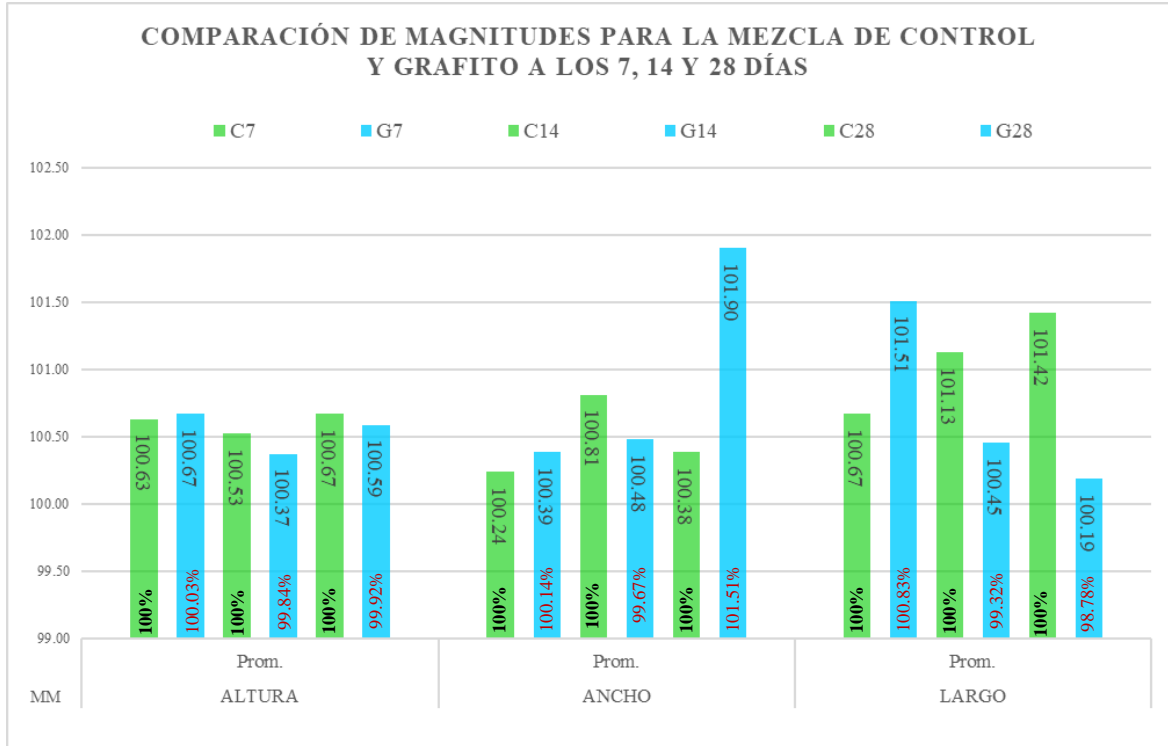
La experimentación se desarrolló en la Ciudad de México, dentro de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México en el Laboratorio de Materiales y Estructuras (LMSE) donde se elaboraron las 30 muestras de concreto y concreto con grafito. Ambas mezclas se incorporaron con materiales controlados y suministrados por el laboratorio.

La calendarización de pruebas inició a partir del 16 de noviembre del 2021 para la mezcla de control y el 17 de noviembre para la mezcla de grafito, considerando los días 24 y 25 para los ensayos a compresión a los 7 días; 30, 01 de diciembre para los 14 días; 14, 15 de diciembre para los 28 días.

En las pruebas de medición en magnitudes de altura, ancho y largo se obtuvieron los siguientes resultados, de acuerdo a la **gráfica 2**.

Gráfica 2

Resultados de las pruebas de medición en los especímenes cúbicos.

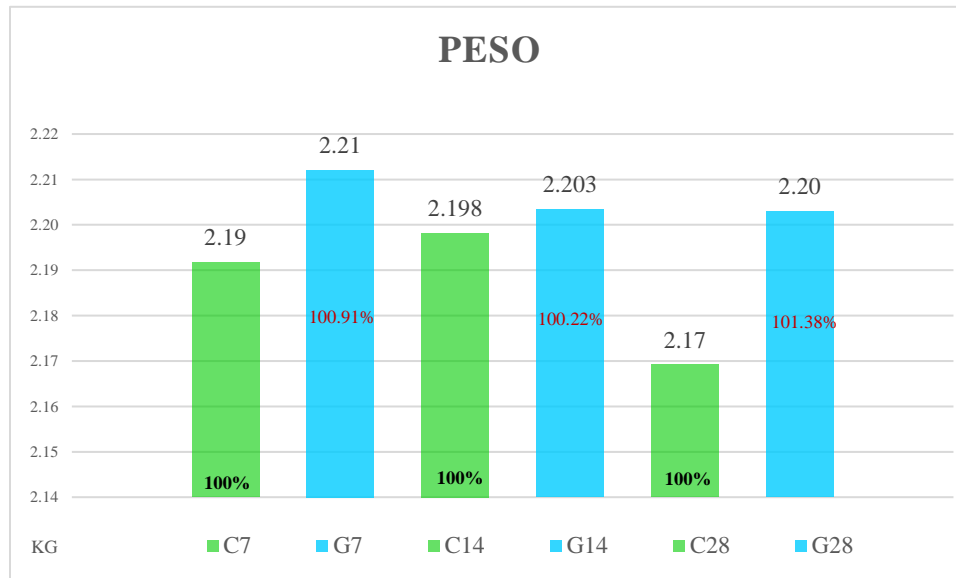


Nota: Visualmente de acuerdo a la **gráfica 2** las dimensiones de los cubos de control y de experimentación, a través de los días, presentaron variaciones de hasta 1mm.

Correspondiente al peso registrado de las muestras de concreto se obtuvieron las magnitudes como el volumen, densidad y la resistencia a la compresión. Esta última se adquirió, complementando los datos arrojados por los ensayos en la máquina universal.

Gráfica 3

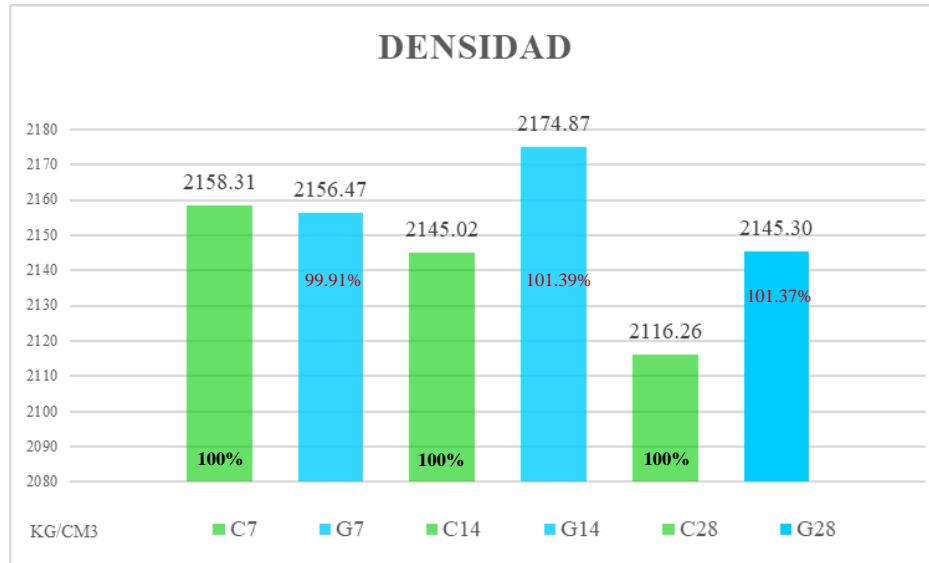
Comparación del peso obtenido de las piezas endurecidas correspondientes a ambas mezclas.



Nota: En la **gráfica 3** se muestra una diferencia de peso en los especímenes de control y de grafito en los distintos días de prueba de 2 a 3 kg. Esta magnitud se relaciona estrechamente con la densidad y el volumen. Las cuales son de importancia en la evaluación de resistencia a compresión del concreto y que aún sin probar los especímenes en la máquina universal se puede conocer su resistencia a la compresión.

Gráfica 4

Comparación de densidad de las piezas endurecidas correspondientes a ambas mezclas.

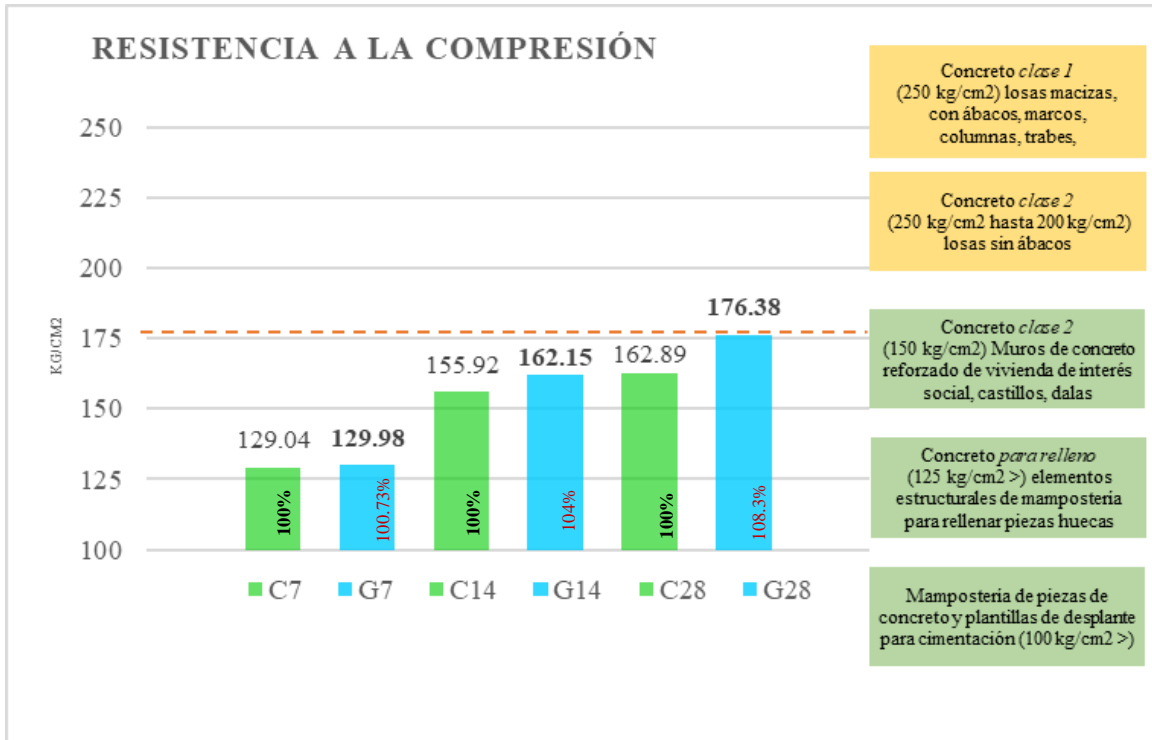


Nota: La densidad en la **gráfica 4** mostró una diferencia entre los especímenes de control y de grafito a través de los días de prueba en la cual, la tendencia de los cubos de control al pasar los días se puede observar que la densidad disminuye, que, en el caso contrario de los cubos de grafito, en primera instancia incrementa y luego disminuye. Esto sucedió específicamente para los cubos de grafito a los 14 días.

La relación entre densidad y resistencia a la compresión es directa, ya que, de acuerdo a Álvarez Mejía (2014), entre más densa sea una pieza de concreto, la resistencia será mayor. Esto tiene que ver con la cantidad de agregados ligeros que pueden existir en la mezcla y la proporción de la masa de cemento más pesada.

Gráfica 5

Comparación de resistencia a la compresión de las piezas endurecidas correspondientes a ambas mezclas.

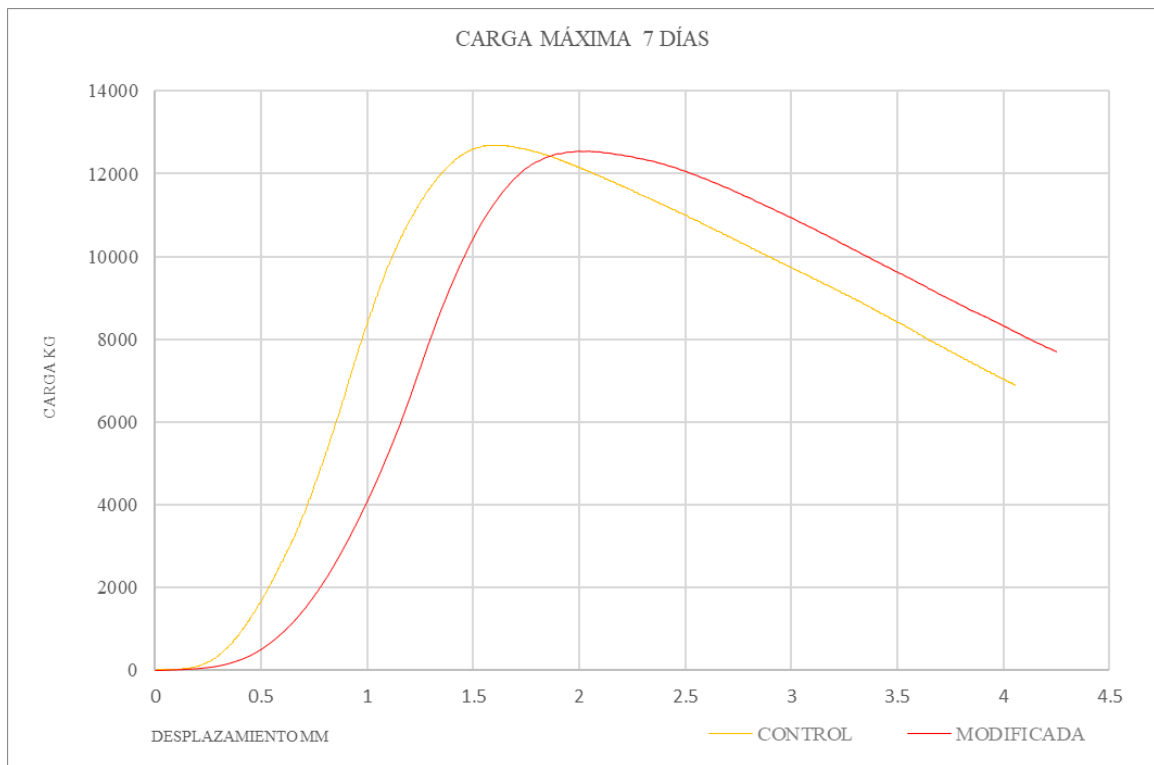


Nota: Interpretación de los resultados conforme a las NTC de la CDMX. A los 7 días, los especímenes de control revelaron un promedio de $f'c$ 129 kg/cm² contra un $f'c$ 130 kg/cm² a los especímenes de grafito, donde se puede observar un aumento del 1.5% en la resistencia del concreto. A los 14 días, las muestras de control manifestaron un $f'c$ 155 kg/cm². Por otra parte, las muestras de grafito presentaron un $f'c$ 162 kg/cm² aumentando la resistencia del concreto en un 4.2%. A los 28 días las muestras de control mostraron un

f'c 163 kg/cm², mientras que las de grafito expusieron un f'c 176 kg/cm² aumentando la resistencia del concreto en un 8.3% como se observa en la siguiente gráfica.

Gráfico 6

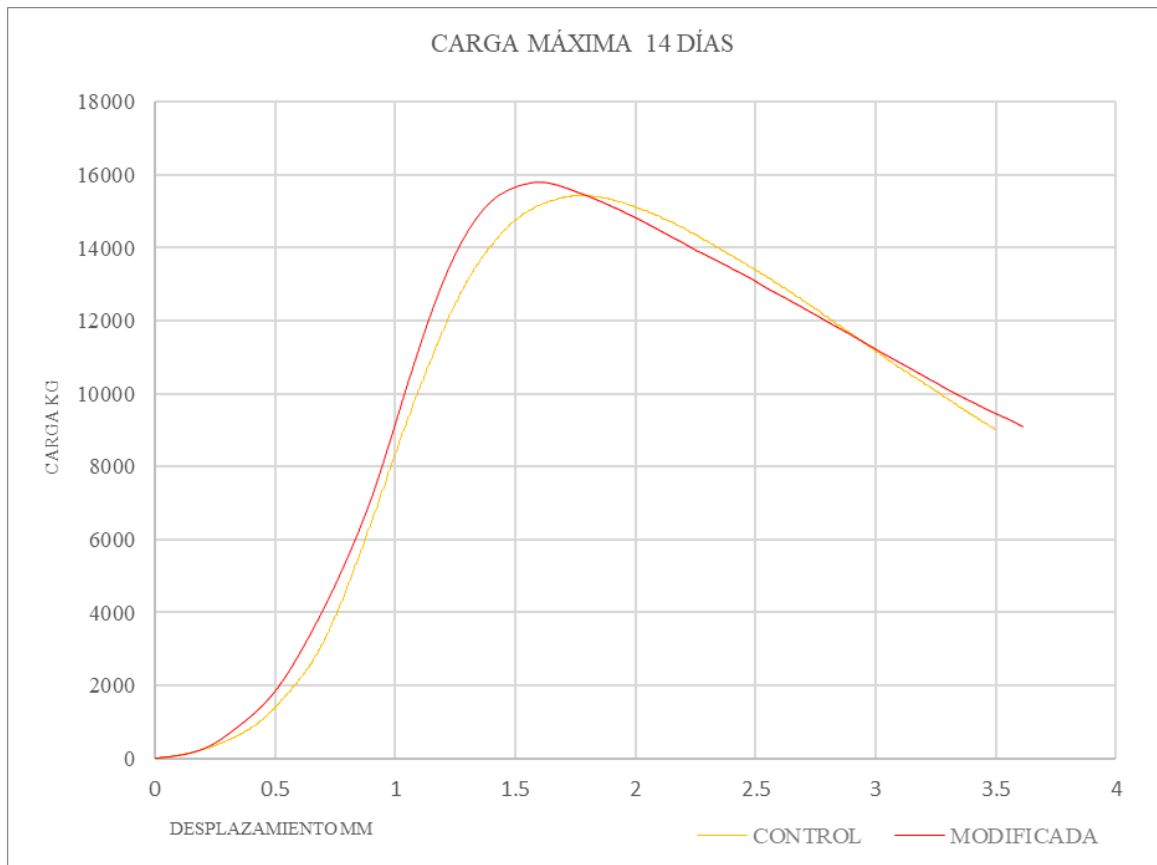
Comparación de resistencia a la compresión de las piezas endurecidas correspondientes a ambas mezclas.



Nota: Se observa que, a los 7 días de prueba el control tiene una menor región elástica, así como una menor resistencia, llegando a la rotura antes que la mezcla modificada.

Gráfico 7

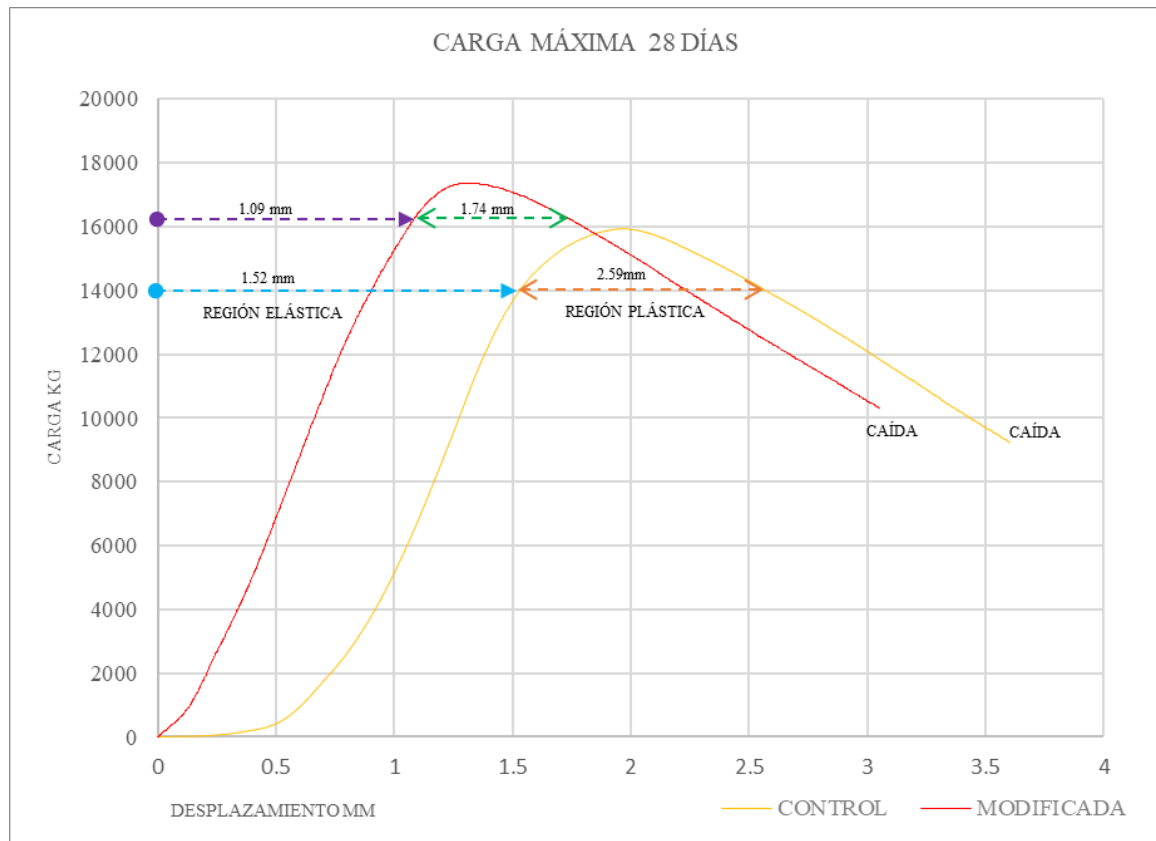
Comparación de resistencia a la compresión de las piezas endurecidas correspondientes a ambas mezclas.



Nota: En esta gráfica se puede apreciar que ambas mezclas comparten en ciertos momentos ambas regiones, aunque destaca la modificada con grafito por presentar una mayor resistencia y tener una caída posterior a la de control.

Gráfico 8

Comparación de resistencia a la compresión de las piezas endurecidas correspondientes a ambas mezclas.



Nota: Al analizar la gráfica a los 28 días, se percibe la disparidad de las muestras, al presentar el control una mayor región elástica y plástica a la modificada, así como una caída posterior, pero con una resistencia menor a la compresión.

GRÁFICAS ESFUERZO- DEFORMACIÓN

OBTENCIÓN

Para la realización de los ensayos a compresión se eligieron condiciones de deformación plana. Por lo tanto, al aplicar los ensayos se optó por las caras laterales que garantizaran una superficie llana y así establecer condiciones de ensayo similar entre probetas.

Asimismo, para obtener las gráficas de deformación se utilizaron las gráficas de comportamiento ante un esfuerzo resistente a la compresión (Véase en los **anexos**) que generó la máquina universal al momento de testar el ensayo a compresión de cada espécimen a los 7, 14 y 28 días. Dichas gráficas guardan puntos de posición necesarios para crear cada una.

El uso de dichas gráficas fue la adquisición de los datos de posición en mm de las muestras, con razón de hallar su respectiva deformación.

En la **gráfica 8** se puede apreciar que la **región elástica** de ambas mezclas a los 28 días difiere por **0.43 mm** y con respecto a su **región plástica** por **0.85 mm**. Estos son datos de trascendencia, al momento de hacer el diseño estructural (Arthur H. Nilson, 2001), ya que la región elástica se refiere al esfuerzo que puede soportar un material y al ser retirado dicho esfuerzo la deformación no influye, lo que quiere decir que su deformación aún puede ser reversible. Al contrario, en la región plástica, cuando alcanza su resistencia máxima, dicha deformación es irreversible

Con respecto a la **gráfica 8**, en un **39%** la mezcla de control es superior en la **región elástica** que la modificada y un **49%** mayor en la **región plástica**; lo que se podría

interpretar como que la mezcla con adición de grafito puede alcanzar una mayor resistencia a la compresión, pero su deformación reversible es menor que la de control. Por lo tanto, de acuerdo a Arthur H. Nilson (2001) las mezclas ligeras tienden a tener una mayor región plástica y que de acuerdo a Tahuiton Mora (2018) dichas mezclas en el ramo de la construcción en arquitectura, al ser más dúctiles responderán mejor al soportar una deformación permanente antes de llegar a su colapso total. Y se especula la mezcla con adición de grafito, de acuerdo a la **gráfica 5**, no se podría aplicar a elementos estructurales que estén expuestos a movimientos telúricos, por lo que en investigaciones posteriores cabe la posibilidad de estudiar el diseño de mezcla con diversos porcentajes de grafito y su desempeño ante esfuerzos de origen telúrico.

PRUEBAS DE MICROSCOPIA

Imagen 19

Imágenes al microscopio grafito y restos de una probeta CG.



Nota: En la fotografía de la izquierda se puede observar grafito puro y a la derecha una muestra de concreto endurecido con adición de grafito en dispersión.

Las pruebas experimentales a compresión denotaron que, al integrar grafito en una mezcla de concreto, el grafito aumenta en un 8% la resistencia de dicho concreto como se muestra en la **gráfica 5**, sin modificar su consistencia o trabajabilidad si se incorpora un porcentaje de grafito menor del 5%.

Tal experimento concluyó que el grafito no se disuelve en la mezcla. Su función dentro del concreto se parece a la de los agregados áridos como la grava y la arena, los cuales se distribuyen en la mezcla y se conglomeran gracias al cemento. Por lo que en la siguiente imagen se puede notar que el grafito (puntos negros) al ser añadido a la mezcla tiene el mismo comportamiento de dispersión.

Imagen 19. En la fotografía de la izquierda se puede observar grafito puro y a la derecha una muestra de concreto endurecido con adición de grafito en dispersión.

Por lo que podemos concluir, que el grafito no altera la trabajabilidad en concentraciones al 1% en la etapa de vaciado y moldeado, puesto que la alteración de la trabajabilidad y la resistencia de la mezcla en mayores porcentajes de grafito queda pendiente de desarrollar en investigaciones posteriores.

Se integra como un agregado como se puede observar en la **imagen 19** donde se nota la distribución del material.

PERMEABILIDAD

Se llevó a cabo una prueba visual en dos probetas de concreto a 28 días. La primera adicionada con grafito y la segunda de concreto simple, en donde se pretendió analizar la capacidad de absorción de agua. Ambas probetas se inclinaron en su parte posterior en una base levantada a 1cm y se les vació 6 ml de agua mediante un gotero y en ese momento se ejecutó el temporizador.

Enseguida, se observó que la muestra adicionada con grafito tardó 1:29 minutos en absorber el agua y en deslizarse por su superficie. Mientras que la muestra de concreto simple tardó en promedio 1:16 minutos en absorber el agua por completo, sin percibirse deslizamiento de la gota de agua. Por lo tanto, el tiempo de absorción de agua en la muestra de grafito tardó en absorberse 13 segundos más que la muestra de concreto simple. El grafito cuenta con una baja adherencia, presentando impermeabilidad. Esta característica

es importante para la construcción. Consideramos que esta propiedad combinada con el concreto abre su espectro a otras aplicaciones como en entornos donde se requiera disminuir su degradación por exposición a la humedad y al agua, como se muestra en la **imagen 20**, donde su absorción disminuye. Sin embargo, la profundización sobre las propiedades impermeables de la mezcla concreto con grafito no se abordó completamente en el desarrollo de esta investigación.

Imagen 20

Pruebas visuales en un lapso de tiempo de absorción del agua en muestras de concreto



Nota: El cubo de la izquierda es una muestra con adición de grafito y el cubo de la derecha es una muestra de concreto simple. Se observa que el cubo de la derecha absorbió más rápido la gota de agua, mientras que el de la izquierda que contiene grafito repelió la gota de agua disminuyendo su absorción.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Este trabajo concentró sus intenciones en evaluar los resultados de adicionar grafito a muestras de concreto mediante pruebas de resistencia a la compresión.

Para fines de esta investigación se llevó a cabo la manufactura de dos mezclas, una de control y la modificada con grafito. Se experimentó cada una a los 7, 14 y 28 días para determinar su resistencia.

Al inicio de esta investigación, se identificaron los materiales a trabajar y se clasificaron acorde a su estudio. El concreto se ubica en los materiales cerámicos compuestos, debido a su composición y el grafito se clasifica de acuerdo a su estructura atómica.

Con referencia a la hipótesis planteada se averiguó mediante la experimentación los resultados obtenidos del aumento o no de la resistencia. Se detectó que la adición del 1% de grafito en la mezcla de concreto conforme lo analizado en la **gráfica 5**, sí aumenta la resistencia a la compresión hasta un **8%** y conforme a las NTC de la Ciudad de México se identificó su uso en elementos como:

- Concreto clase 2 (150 kg/cm^2) para muros de concreto reforzado de vivienda de interés social, castillos y dalas.
- Concreto para relleno (125 kg/cm^2) para elementos estructurales de mampostería para rellenar piezas huecas.
- Mampostería de piezas de concreto y plantillas de desplante para cimentación. (100 kg/cm^2).

Adicionalmente, se demostró en una prueba visual de permeabilidad, que el grafito absorbe menor cantidad de agua y conforme a su distribución se desliza más fácilmente por la superficie gracias a la propiedad de ser impermeable y configurar una mayor densidad en la mezcla de concreto, como se expresa en la **gráfica 4**; por lo que la hipótesis planteada se cumplió.

APLICACIONES

En las pruebas realizadas se descubrió que el grafito como material adicionado en una mezcla de concreto le brinda propiedades como el incremento de resistencia e impermeabilidad.

El material podría ser empleado para elementos de concretos prefabricados no estructurales, ya que, con referencia al **gráfico 8**, la resistencia a la compresión en comparación con un concreto simple es mayor, pero presenta una disminución en su región elástica y plástica, lo que lo convierte en un concreto con mayor fragilidad ante fenómenos telúricos en comparación con un concreto simple.

Se especula su aplicación de acuerdo a los resultados obtenidos y con referencia a las NTC de la CDMX (Véase el **gráfico 5**) hacia proyectos de restauración, en la construcción de elementos de mampostería, prefabricados, fachadas, plantillas para cimentaciones, así como, revestimiento de elementos estructurales como azoteas ajardinadas y/o donde esté expuesto a ambientes de humedad.

La modificación de las cantidades de grafito añadido en la mezcla de concreto, quedan pendientes a estudiar en trabajos futuros, para indagar los usos del material en la arquitectura que, de acuerdo a la literatura, podrían brindar otras propiedades como la capacidad de conductividad térmica e impermeabilidad y su empleo en medios ambientes con altos porcentajes de humedad.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

La construcción en México concentra esfuerzos en la utilidad y reducción de costos de producción. Por lo que la asequibilidad de estas alternativas se convierte en uno de los factores principales para considerar su implementación. A continuación, se desglosa el análisis de precio unitario para la elaboración de un m³ de concreto simple y concreto con grafito a la fecha de marzo de 2022.

Tabla 18

Análisis de los precios unitarios para CS

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO CS

m³ de concreto hecho en obra en cimentación F'C=250 kg/cm² con agregado de 19 mm (3/4")

Incluye: cemento, arena, grava, agua.

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>P.U</i>	<i>Importe</i>
ARENA	m ³	0,271	\$357,14	\$96,61
GRAVA	m ³	0,425	\$385,71	\$163,85
CEMENTO	kg	325,300	\$3,16	\$1.027,95
Precio m³ de concreto CS				\$1.288,41

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO CS

m³ de concreto hecho en obra en cimentación F'C=250 kg/cm² con agregado de 19 mm (3/4")

Incluye: cemento, arena, grava, agua.

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>P. U</i>	<i>Importe</i>
ARENA	m ³	0,271	\$357,14	\$96,61
GRAVA	m ³	0,425	\$385,71	\$163,85
CEMENTO	Kg	325,300	\$3,16	\$1.027,95
GRAFITO	Kg	3,253	\$110,00	\$357,83

Precio m³ de concreto CG \$1.646,24

Como resultado del estudio, la mezcla de concreto modificado con grafito al 1%, presenta las características para poder ser implementado en elementos exteriores autoportantes, debido a su impermeabilidad. Que si bien el costo de un m³ de concreto con grafito, puede ser mayor en un principio; a largo plazo puede involucrar un ahorro en los gastos de mantenimiento al ser menos propenso a dañarse por exposición a humedad.



A N E X O S



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CIUDAD UNIVERSITARIA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

Práctica experimental
PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO -
GRAFITO

Presentan:

Rebeca Landin Miranda

Rebeca Rebollo Osorio



Dr. Alberto Muciño Vélez
Vo. Bo.

Responsable del Laboratorio de Materiales y Sistemas
Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura, Sede Centro
del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables
(LNVCS)

DR. Alberto Muciño Vélez



Mtro. Antonio Tahuiton Mora
Vo. Bo.

Técnico Académico en el Laboratorio de Materiales y Sistemas
Estructurales (LMSE) de la Facultad de Arquitectura, Sede Centro del
Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables
(LNVCS)

M. en arq Antonio Tahuiton Mora

Directora de tesis
Mtra. en Ing. Perla Rafael Santa Ana Lozada
Facultad de Arquitectura, UNAM.

PROTOCOLO

INTRODUCCIÓN

En el campo de la arquitectura, la parte constructiva es uno de los elementos más importantes para constituir una obra arquitectónica. Por lo cual es indispensable conocer los procesos constructivos y la manipulación de los materiales que se trabajan para una correcta aplicación de estos y así obtener eficientes resultados.

El conocimiento, práctica y prueba de los materiales para el arquitecto, es una base fundamental en su formación para responder, aplicar e innovar dentro de su rama, a distintos proyectos, factores e inconvenientes que se le presenten dentro y fuera de la obra.

Por lo que, conocer en esta praxis las características físicas y mecánicas de los materiales cementantes, es conveniente porque se comprende y se deduce de forma didáctica cómo responde y se comporta el material de acuerdo a los factores a los que se exponga y se trabaje.

El concreto es un material utilizado en la construcción, el cual está formado por una mezcla de un 25% a un 40% de un aglomerante, como el cemento y agua, de un 55% a un 75% de agregados pétreos como grava o arena que sirven para reforzar la mezcla cementante del concreto, y de aditivos que tienen como función modificar las propiedades físicas a los materiales conglomerantes, como pueden ser la permeabilidad, el tiempo de fraguado o la inclusión de burbujas de aire.

En la actualidad, el concreto representa el principal material de construcción a nivel mundial, por lo que la profundización en su conocimiento permite extender sus

aplicaciones. Sin embargo, no es posible dejar a un lado el impacto ecológico que este genera en su proceso de fabricación, puesto que generar materiales compuestos de concreto a su vez, permite disminuir las cantidades de cemento empleado y aumentar sus propiedades, tales como su resistencia.

OBJETIVO

Esta investigación y experimentación tiene como objetivo observar el comportamiento del material compuesto concreto-grafito y reconocer sus propiedades, tales como la resistencia a la compresión en especímenes cúbicos de concreto y concreto compuesto con adición de grafito endurecidos a los 28 días, con dimensiones de 100 mm.

En México los avances tecnológicos trajeron un significativo cambio para la realización de pruebas de compresión en concreto. Esto lo demuestra la norma NMX-C-155-ONNCCE-2014, donde se especifican factores de correlación entre las resistencias que existen de compresión entre especímenes cúbicos de distintas dimensiones y cilindros de 15 cm x 30 cm, por lo que los cubos sobresalen ante los cilindros por sus virtudes en el ahorro de tiempo, dinero y material, ya que se emplea menor cantidad de concreto, se evita el proceso de cabeceo, así como en su eficiencia práctica con la maniobra de muestras de menor tamaño-peso (Baltazar García, 2015).

Las pruebas serán elaboradas de acuerdo a lo que dictan las normas NMX-C-159-ONNCCE-2016 *Industria de la Construcción – Concreto – Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo*, NMX-C-083-ONNCCE-2014 *Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes* y las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, ensayadas mediante la prueba mecánica

destruictiva a compresión, aplicando una carga axial uniformemente a los especímenes cúbicos de concreto, por medio de la máquina universal.

MARCO TEÓRICO

La experimentación con cementantes y materiales provenientes del carbono mejoran notablemente en un 15% la resistencia a la compresión del concreto. (Yanturinaa, Trofimova and Ahmedjanov, 2017).

En la tesis de investigación Ccopa Mamani, Heber, Efecto del grafeno como aditivo nanotecnológico en la resistencia del concreto, realizó pruebas de resistencia a la compresión en concreto portland a los 7, 14 y 28 días adicionando grafito al compuesto en proporción del 0.5%, 1% y 1.5% con relación en el peso del cemento obteniendo un incremento de resistencia del concreto en los plazos establecidos de 7, 14 y 28 días. Este se toma como referencia debido a la relación con el grafito, ya que ambos son derivados del carbono.

En el artículo concreto nanotecnológico (Muciño Vélez, A. 2010), hace mención de los beneficios del uso de materiales compuestos con aditivos nanotecnológicos como uso de los avances científicos en la resolución de problemas derivados de la producción industrial; es decir, al hacer uso de agregados tecnológicos y modificar propiedades físicas y químicas de un material en este caso el concreto se genera un camino a la creación de un nuevo material, el cual reduciría las emisiones actuales de **CO2** que trae consigo la producción de cemento.

También se está investigando su uso en el nano-refuerzo de materiales cementosos. Demostrando que, usado como aditivo, proporciona mucha más resistencia que el acero, evitando la formación y propagación de nano fisuras, según la tesis de Ortega, I. P. (2018).

MATERIALES

- Cemento Portland compuesto.
- Arena tamizada por la malla # 4.
- Grava tamizada por la malla # 9/4.
- Agua.
- Vernier.
- Desmoldante (aceite mineral o vaselina).
- Depósito volumétrico para los materiales.
- Probeta graduada o vaso de precipitados.
- Gotero o pipeta.
- Taladro.
- Plástico o bolsas negras plásticas grandes.
- Bolsas con cierre hermético.
- Mezcladora mecánica (concretera).
- Contenedor no absorbente.
- Palangana metálica, cuchara, cucharón, espátula.
- Moldes para especímenes cúbicos de 100 mm.
- Franela, brocha 1/2" y esponja.
- Enrasador (regla metálica).
- Máquina de Ensayo (Máquina Universal).
- Marcador.

- Báscula y cinta métrica.
- Mascarilla.
- Grafito.
- Lentes de protección.
- Guantes de látex.

PROCEDIMIENTO

La dosificación para el diseño de la mezcla de concreto se realiza con base en el método ACI 211.1-91. Para realizar este diseño de mezcla se ejecutan análisis previos que determinan la calidad de los materiales, el tamaño de los agregados pétreos, su peso volumétrico, entre otros, con la finalidad de diseñar adecuadamente la mezcla del concreto, con respecto a la resistencia deseada, donde se conoce el porcentaje de material necesario para cada tipo de mezcla, ya sea para las probetas de concreto simple (CS Probetas de control) de las cuales serían 15 especímenes cúbicos de 100 mm y concreto modificado con grafito (CG) donde serán 15 especímenes cúbicos de 100 mm, obteniendo un total de 30 pruebas.

PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE 100 MM

1. Las condiciones ambientales en el laboratorio deben permanecer entre los 20°C y 25°C para la elaboración de concreto y especímenes. Se debe registrar la temperatura y humedad de la zona de trabajo dentro del laboratorio para el informe final (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, [ONNCCE], 2016).

- 2.** Elaborar los especímenes en el lugar en donde se almacenarán durante las primeras 24 h. La muestra de concreto se deberá transportar a la inmediatez al lugar para la fabricación de los especímenes Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE, 2016).
- 3.** La zona de trabajo deberá ser una superficie limpia y nivelada para facilitar el moldeo, la compactación, vibración de probetas y el curado inicial, protegido y libre de cualquier objeto u actividad que pueda dañar las probetas (ONNCCE, 2016).
- 4.** El tamaño del agregado grueso debe caber cuando menos tres veces en la dimensión menor de una sección transversal rectangular de los especímenes, ONNCCE (2016).
- 5.** Se programan los especímenes de concreto para su prueba de ensayo a los 7, 14 y 28 días para la resistencia a la comprensión entre 150 y 350 kg/cm². Se harán dos mezclas, una de control y otra con el 1% de grafito.

Tabla 1.1

Propuesta número de probetas a experimentar.

Días	Mezcla f'c 250 sin grafito (control)	Mezcla f'c 250 con 1% de grafito	Total de pruebas
7	5	5	
14	5	5	
28	5	5	30

6. Realizar el cálculo de diseño de mezcla requerido para la preparación de las muestras de concreto de acuerdo a la norma con un f'c 250 kg/cm².
7. Engrasar con vaselina o aceite requemado los moldes cuadrados de 100 mm con ayuda de una brocha y así evitar la adherencia de la mezcla de concreto.
8. En un molde vaciar el cemento y agregar agua con una pipeta o gotero para hidratarlo primero hasta conseguir una mezcla sin grumos o burbujas y de consistencia líquida. Esta mezcla se hará con una espátula.
9. Después agregar la arena, mezclar hasta que se vea una pasta uniforme y densa. Si de acuerdo al diseño de mezcla, el agua no es suficiente y se ve una mezcla seca, añadir con la pipeta (cada pipeta tiene un mililitro de agua, por lo que se debe llevar el control de cuantas pipetas se le está agregando)

desde el vaso de precipitados, poco a poco agua, hasta conseguir una pasta uniforme.

10. Cuando se consiga la consistencia deseada agregar; dependiendo de cada caso (muestras con grafito y sin grafito) arena, grava y grafito y mezclar hasta conseguir una pasta manejable.

11. Vaciar en cada molde la mezcla ayudándonos con la espátula e ir variando en cada molde la mezcla hasta 25 veces por cada molde hasta conseguir extraer las burbujas de aire de cada uno de los cubos de concreto.

Tabla 1.2

Diámetro de la varilla y número de penetraciones empleadas para moldear los especímenes de ensayo NMX-C-159-ONNCCE-2016 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2016).

Diámetro de cilindro, mm	Cilindros Diámetro de varilla, mm	Número de penetraciones / capa
75 < 150	10 $\frac{+}{-}$ 2	$\frac{+}{-}$ 0.5 h
150	10 $\frac{+}{-}$ 2	$\frac{+}{-}$ 2 h
200	10 $\frac{+}{-}$ 2	$\frac{+}{-}$ 6 h
250	10 $\frac{+}{-}$ 2	$\frac{+}{-}$ 12 h
Área de la superficie superior del espécimen, cm²	Vigas y prismas Diámetro de varilla, mm	Número de penetraciones/ capa
100 o menos	10 $\frac{+}{-}$ 2	25
165 a 310	10 $\frac{+}{-}$ 2	Una por cda. 7 cm ² de superficie
320 o más	16 $\frac{+}{-}$ 2	Una por cda. 14 cm ² de superficie

Nota: En caso de cilindros: Si a consecuencia de la compactación de la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, antes de la vigésima penetración, se agrega concreto en una sola ocasión para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo. *Recuperada de NMX-C-083-ONNCCE-2014.*

12. Se vibra el concreto cuidando la duración para que no pierda aire incluido y/o segregación. El tiempo de vibrado se alcanza cuando la superficie externa del espécimen adquiere un aspecto relativamente liso y brillante ONNCCE (2016).

13. Enraizar cada una de las muestras con ayuda de una regla o espátula de metal para darle a la superficie una cara plana sin irregularidades, que esté a nivel con las orillas del molde ONNCCE (2016).

PARA LA PREPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO PARA PROBAR LAS MUESTRAS DE CONCRETO DE 100 MM

- 1.** El cabeceo no es necesario considerarlo en el caso de los especímenes cúbicos de concreto.
- 2.** Limpieza de las placas de la máquina de ensayo.
- 3.** Colocación de los especímenes cúbicos de concretos situados sobre las caras descimbradas (ya que no presentan irregularidades y las superficies son más planas).
- 4.** Velocidad de aplicación de carga según lo estipulado en la siguiente tabla, respaldado por la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014**.

Tabla 1.3

Velocidad de aplicación de carga NMX-C-083-ONNCCE-2014 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2015)

Velocidad de aplicación de carga	Forma del espécimen	Diámetro o lado nominal de los especímenes cm (pulgadas)	Área nominal (cm²)	Carga mínima kN/s (Ton/min.)	Carga máxima kN/s (Ton/máx.)
0.25 Mpa/s \pm - 0.05	Cilindros	5.00 (2") de diámetro	19.64	0.4 (2.4)	0.6 (3.6)
		7.50 (3") de diámetro	44.18	0.9 (5.4)	1.3 (8.1)
		10 (4") de diámetro	78.54	1.6 (9.6)	2.4 (14.4)
		15 (6") de diámetro	176.72	3.5 (21.6)	5.3 (32.4)
(2.55 kg/cm ² \pm 0.51 kg/cm ² /s)	Cubos	5.00 (2") de lado	25.00	0.5 (3.1)	0.8 (4.6)
		7.50 (3") de lado	56.25	1.1 (6.9)	1.7 (10.3)
		10 (4") de lado	100.00	2.0 (12.2)	3.0 (18.4)
		15 (6") de lado	225.00	4.5 (27.5)	6.8 (41.3)

Nota: Recuperada de NMX-C-083-ONNCCE-2014.

5. Las tolerancias con las que deben ensayarse los especímenes de acuerdo a la edad especificada son:

Tabla 1.4

Tolerancias de ensayo para especímenes de acuerdo a la edad especificada NMX-C-083-ONNCCE-2014, (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2015)

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible
24 h	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0.5 \text{ h}$
3 días	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 2 \text{ h}$
7 días	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 6 \text{ h}$
14 días	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 12 \text{ h}$
28 días	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 20 \text{ h}$
90 días	$\begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 48 \text{ h}$

Nota: Recuperada de NMX-C-083-ONNCCE-2014.

PARA EL CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

1. Calcular la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante el ensayo entre el área promedio de la sección transversal.

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

A

Donde:

- a. $f'c$ es la resistencia a compresión
 - b. F es la carga máxima
 - c. A es el área del espécimen
2. La resistencia a la compresión se determina con el promedio de 2 especímenes como mínimo, ensayados a la edad especificada.
 3. El resultado del ensayo se expresa con una aproximación de 100 kPa (1 kg/cm^2).

***En cubos**

Cubos de 100 mm

•Coeficiente de repetibilidad 3,2 %

- Coeficiente de reproducibilidad 5,4 %

NMX-C-083-ONNCCE-2014 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2015).

CONTENIDO DEL INFORME DE LOS ENSAYOS (1)

1. Lugar de depósito del concreto.
2. Temperatura y humedad.
3. Fecha de elaboración.
4. Características del concreto.

NMX-C-159-ONNCCE-2016 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2016).

CONTENIDO DEL INFORME DE LOS ENSAYOS (2)

1. Serie o clave que distingue cada espécimen.
2. Edad de cada ensayo de acuerdo a su programación.
3. Medidas de cada lado y altura con centímetros y aproximación en milímetros.
4. Área de la sección transversal en centímetros cuadrados con aproximación al décimo.

5. Carga máxima en N (kgf).
6. Análisis de factores, características y defectos observados en los especímenes.
7. Serie o clave de los equipos utilizados para la prueba.

NMX-C-083-ONNCCE-2014 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2015).

CONDICIONES DE MANTENIMIENTO Y CURADO EN EL LABORATORIO

Los especímenes de concreto sin fraguar, deberán ir cubiertos con una cubierta, tapa o plástico, que sean impermeables y durables. Es importante que a la inmediatez de terminado el vibrado y compactación del concreto en los moldes, se realice dicho punto para prevenir que el agua se evapore por el efecto de la reacción endotérmica de la mezcla.

La pauta de tiempo para el descimbrado es no ejecutarlo después de transcurridas 48 horas de su elaboración ni antes de 20 horas.

A partir de las primeras 24 horas y hasta 7 días después de colados, como mínimo, los especímenes serán sometidos a un curado, que consiste en completar su proceso de hidratación y mantener los niveles de humedad y temperatura ideales del concreto para que de esta forma pueda desarrollar las características para las que fue creado, por almacenamiento en cuarto

húmedo. Las muestras no deben ser expuestas a goteo directo o agua corriente ONNCCE (2016).

PRECAUCIONES GENERALES

Tabla 1.4

Identificación de grafito

GRAFITO

Identificador del producto	Grafito natural
Clasificación de la sustancia	Sustancia natural
Usos identificados	Producto químico de laboratorio, uso analítico y de laboratorio
Advertencias en su etiquetado	Manipular con cubrebocas KN95 y guantes de látex, tóxica para la salud. Leve irritación en la piel y mucosa por efecto mecánico.

Primero auxilios

- Quitar prendas contaminadas
- En caso de inhalación proporcionar aire fresco. Consultar a un médico en caso de malestar o duda.
- En caso de contacto con la piel, lavar la zona con agua y jabón o tomar una ducha en caso de ser posible.
- En caso de contacto con los ojos, lavar cuidadosamente con abundante agua durante varios minutos.
- En caso de ingestión enjuagar boca con abundante agua durante varios minutos, los principales síntomas y efectos son irritantes en la zona de contacto.

MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción apropiados:

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores, agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO₂). **IMPORTANTE: No emplear agua.**

Peligros específicos derivados de la sustancia:

El grafito es combustible y en caso de incendio se pueden formar: Monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂).

MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones para el personal:

No respirar el polvo, mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas, se recomienda el cierre de desagües y recoger mecánicamente en recipientes adecuados para su desecho.

MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Evitar la producción de polvo, asegurar una ventilación adecuada.
- Lavar las manos antes de las pausas y al final del trabajo.
- Mantener el recipiente que lo almacena herméticamente y en un lugar seco, la temperatura de almacenaje recomendada es de 15 a 25°C.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Equipo de protección personal:

- Utilizar gafas de protección con protección a los costados.
- Utilizar guantes apropiados para la protección química (Material NBR goma de nitrilo).
- Protección respiratoria necesaria en contra de la formación de polvo. Filtro de partículas del 80% de las partículas atmosféricas, código de color: Blanco.

LITERATURA CONSULTADA

Muciño Vélez, A. (2010). Concreto nanotecnológico: resistencia mecánica de cementos reforzados con partículas submicrométricas [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000655695

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

(2014). *Industria de la Construcción – Concreto Hidráulico – Dosificado en Masa – Especificaciones y Métodos de Ensayo* (NMX-C-155-ONNCCE-2014).

<https://www.onncce.org.mx/index.php/es/venta-normas/fichas-tecnicas?view=item&id=1677>

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

(2015). *Industria de la Construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes - método de ensayo*

(NMX-C-083-ONNCCE-2014). <https://www.onncce.org.mx/index.php/es/venta-normas/fichas-tecnicas?view=item&id=1674>

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

(2016). *Industria de la Construcción – Concreto – Elaboración y Curado de*

Especímenes de Ensayo (NMX-C-159-ONNCCE-2016).

<https://www.onncce.org.mx/index.php/es/venta-normas/fichas-tecnicas?view=item&id=1679>

Baltazar García, J. (enero 2015). *DE ACUERDO A NMX-C-155-ONNCCE-2014,*

Correlación de la resistencia a la compresión en cubos y cilindros. Construcción

y tecnología en concreto, 29-33. Repositorio

Institucional.<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4534>)

Muciño Velez, A. (2009). CONCRETO NANOTECNOLÓGICO. RAZÓN Y PALABRA

Primera Revista Electrónica en América Latina Especializada en Comunicación.

http://www.razonypalabra.org.mx/N/n68/Monotematico/PDF/1_Mucino2_68.pdf

American Concrete Institute, USA. (2009) *Standard Practice for Selecting Proportions*

for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. (ACI 211.1-91).

[https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=211191&Format=DO](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=211191&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_Units)

[WNLOAD&Language=English&Units=US_Units](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=211191&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_Units)

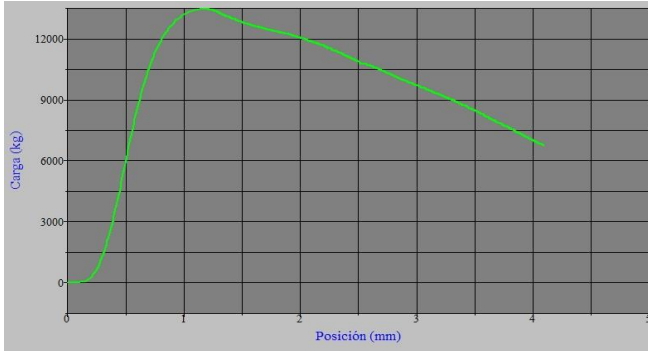
XX
TRON

GRÁFICAS

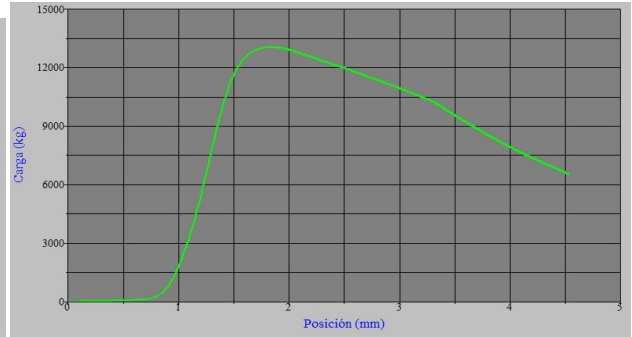


GRÁFICOS ESFUERZO DEFORMACIÓN

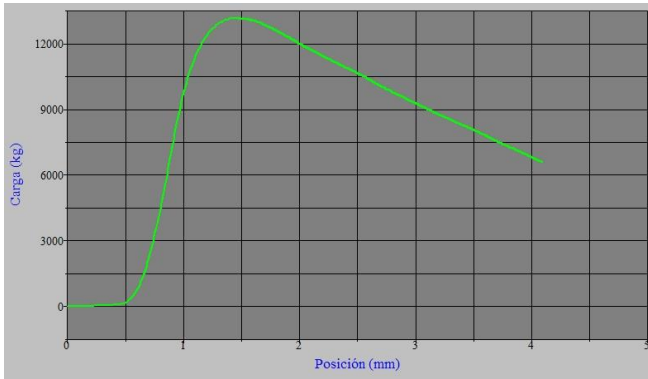
Gráfica 1
CS-07-01



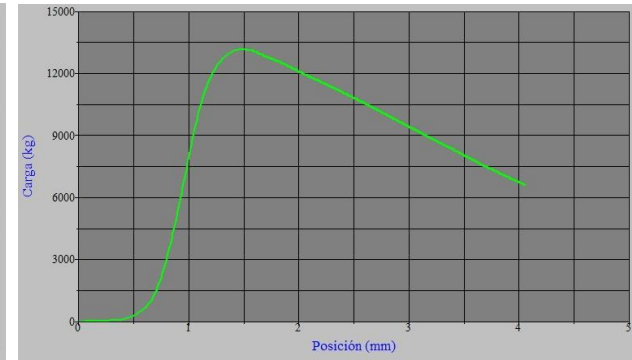
Gráfica 2
CS-07-02



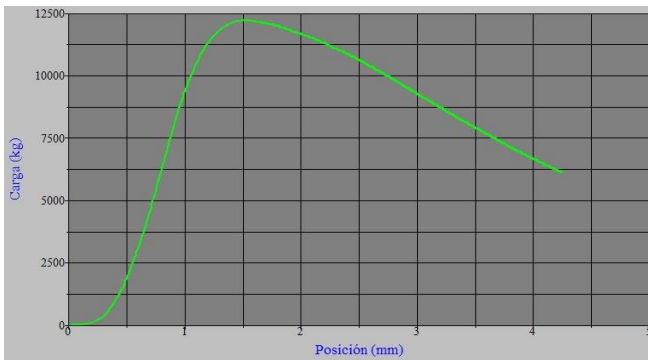
Gráfica 3
CS-07-03



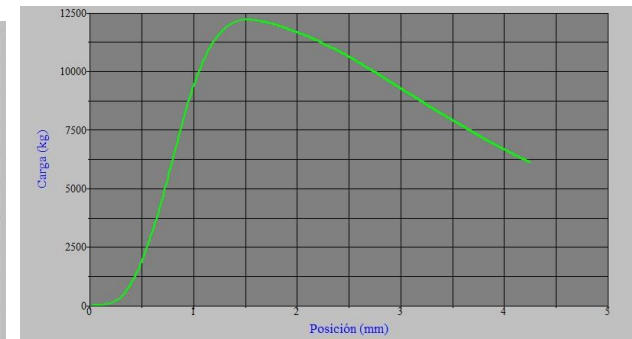
Gráfica 4
CS-07-04



Gráfica 5
CS-07-05

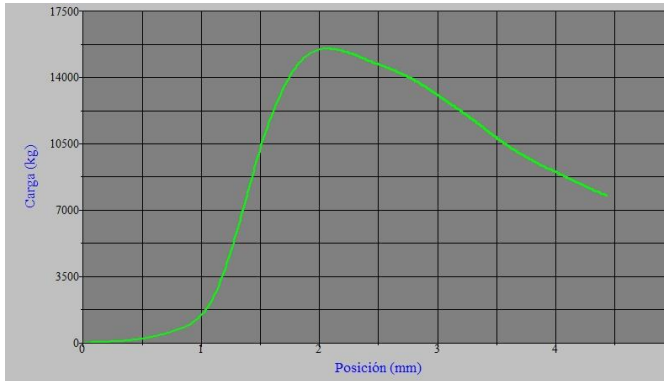


Gráfica 6
CS-14-01



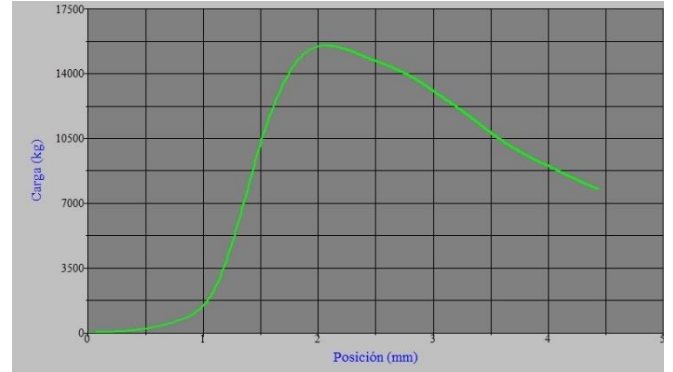
Gráfica 7

CS-14-02



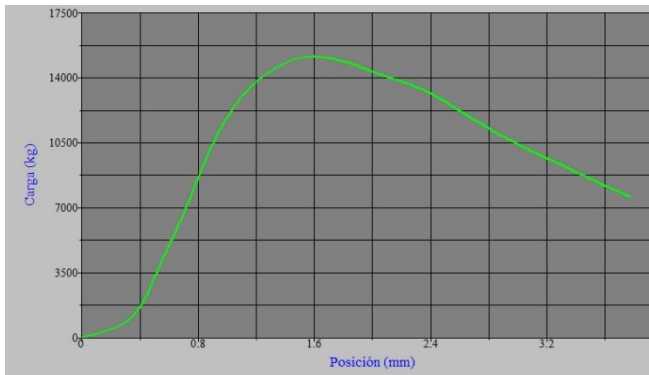
Gráfica 8

CS-14-03



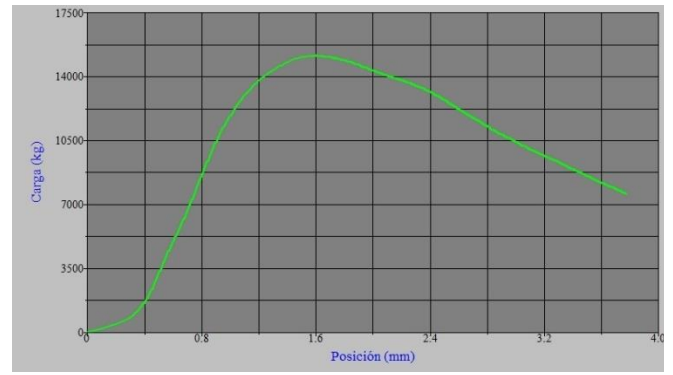
Gráfica 9

CS-14-04



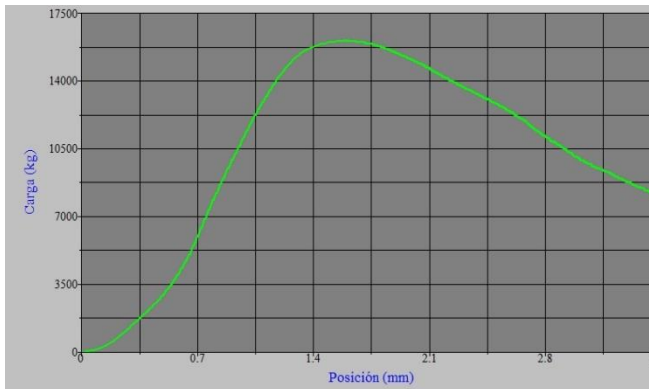
Gráfica 10

CS-14-04



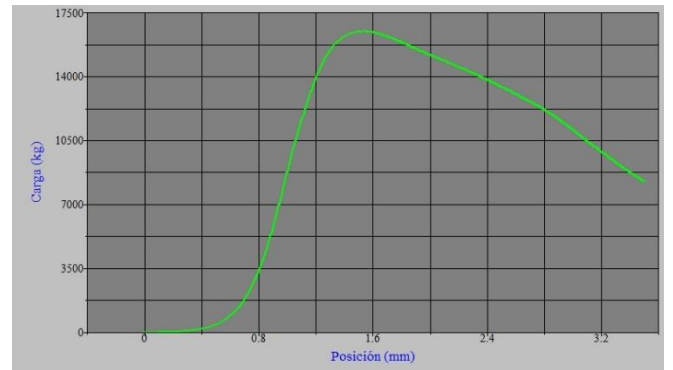
Gráfica 11

CS-28-01



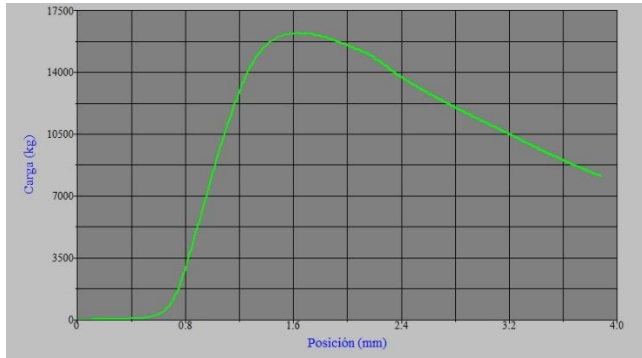
Gráfica 12

CS-28-02



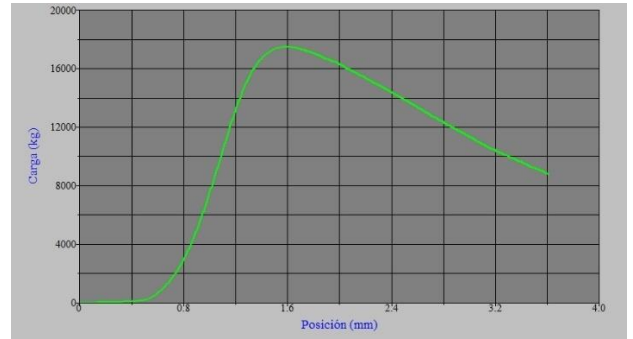
Gráfica 13

CS-28-03



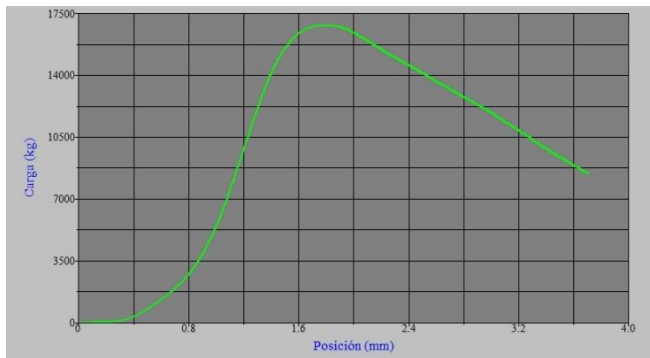
Gráfica 14

CS-28-04



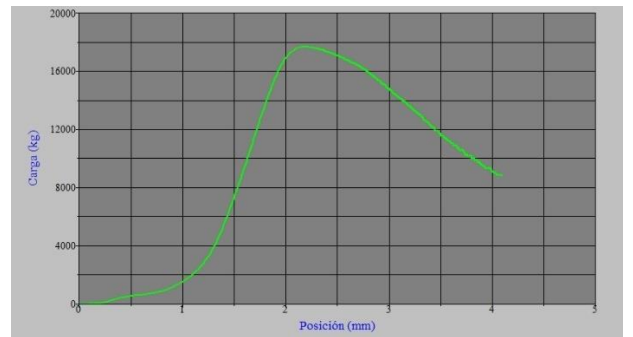
Gráfica 15

CS-28-05



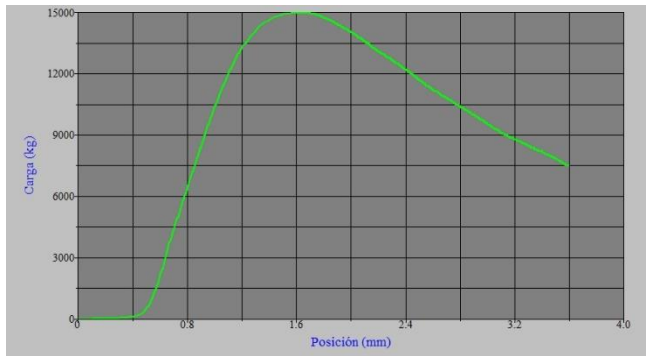
Gráfica 16

CG-07-01



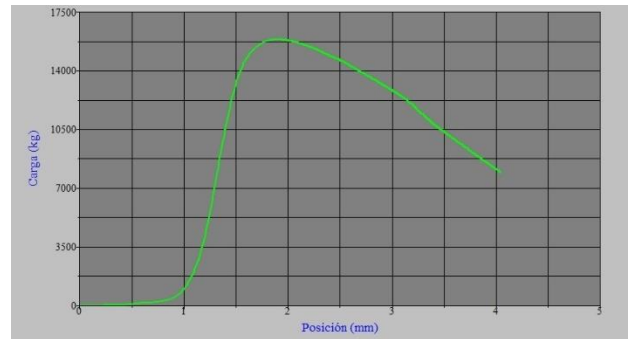
Gráfica 17

CG-07-02



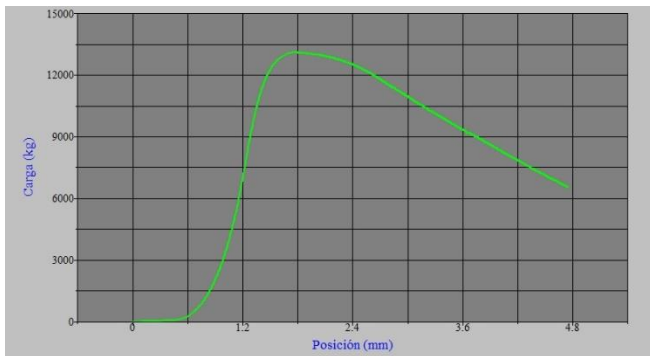
Gráfica 18

CG-07-03



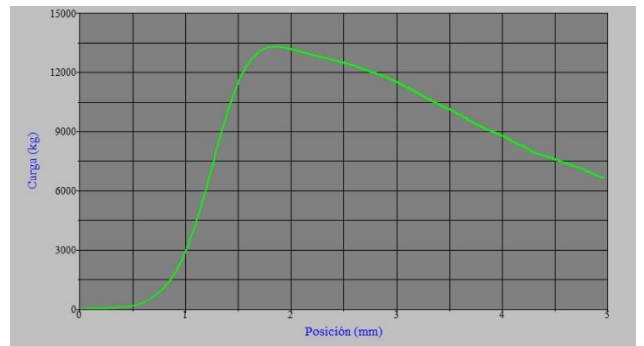
Gráfica 19

CG-07-04



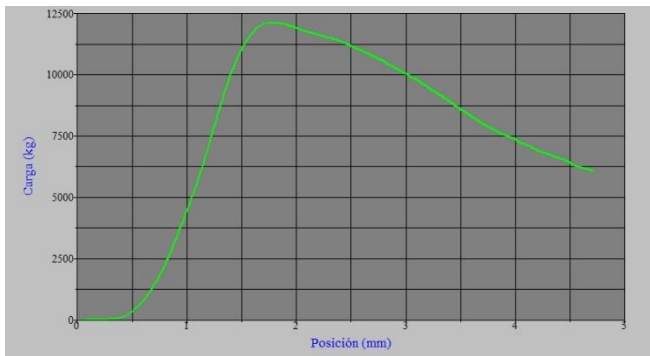
Gráfica 20

CG-07-05



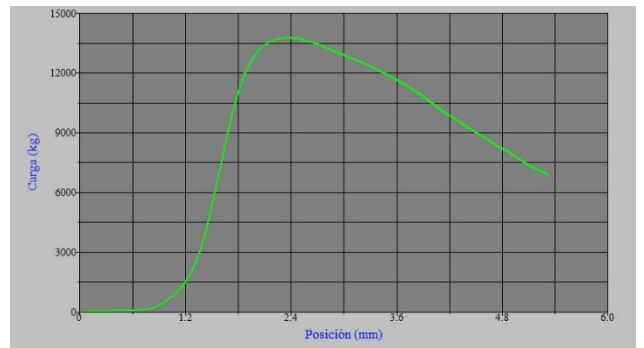
Gráfica 21

CG-14-01



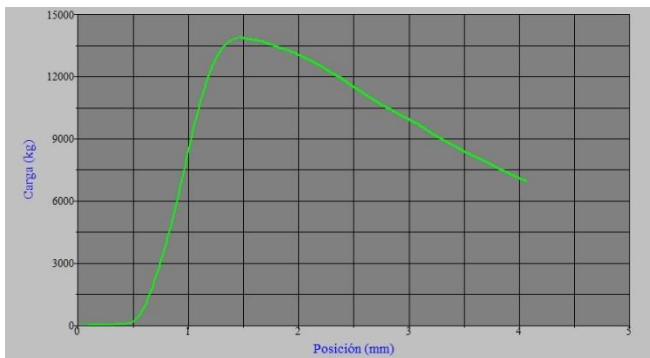
Gráfica 22

CG-14-02



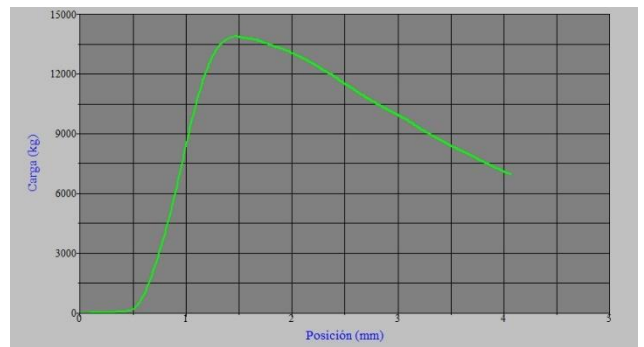
Gráfica 23

CG-14-03



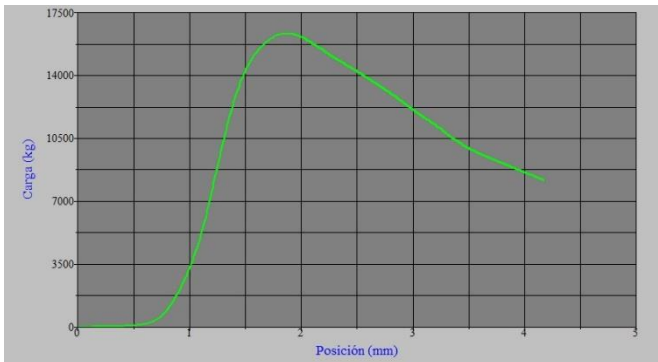
Gráfica 24

CG-14-04



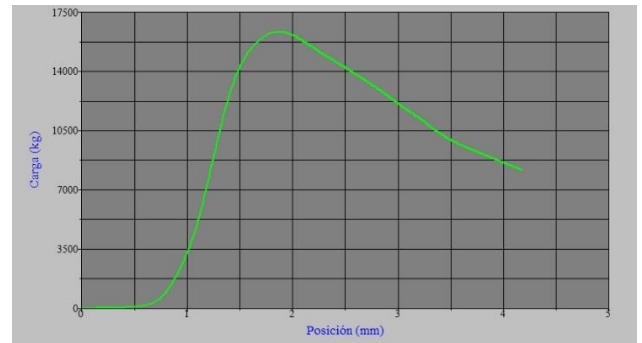
Gráfica 25

CG-14-05



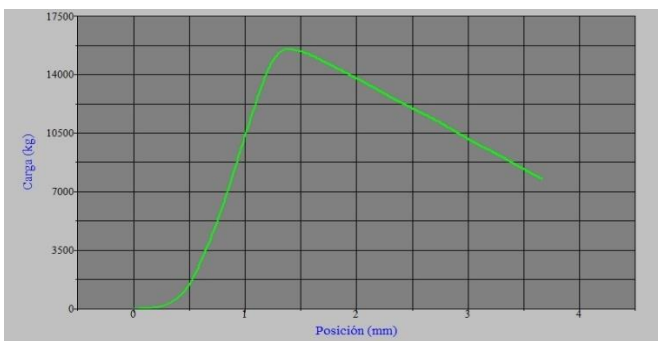
Gráfica 26

CG-28-01



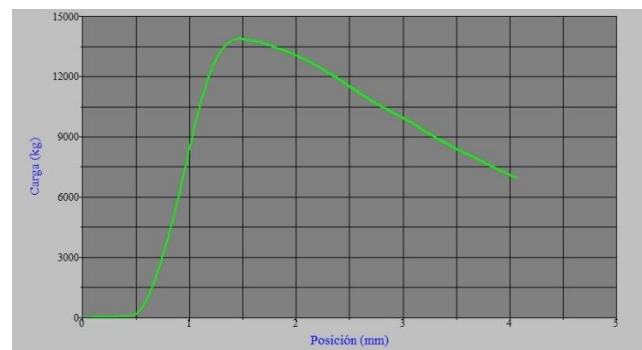
Gráfica 27

CG-28-02



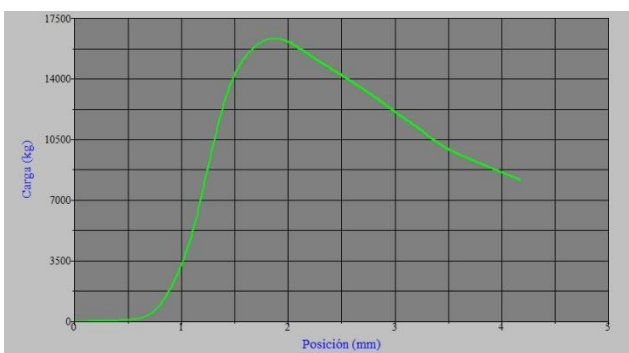
Gráfica 28

CG-28-03



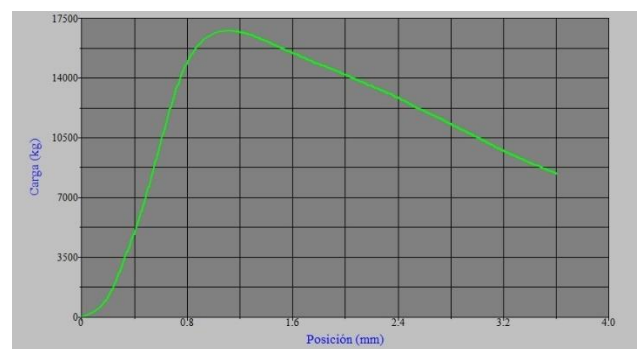
Gráfica 29

CG-28-04



Gráfica 30

CG-28-05



Debido a que la escala de estas gráficas no es la misma las curvas y su representación gráfica, aunque visualmente lo aparentan, no determinan si un espécimen tuvo mayor resistencia a esfuerzos de compresión que otro. Por lo tanto, para determinar si los especímenes adicionados con grafito tuvieron una mayor resistencia podemos apoyarnos de otros materiales gráficos. Los **gráficos 1-30** fueron utilizados para obtener los datos de posición en mm, de cada una de las muestras.



NOTAS

NOTAS

1. Conforme a la experiencia del experimento llevado a cabo, podemos inferir que existen factores que influyen a la hora de preparar la mezcla y que identificamos como el tipo de agregados y la marca de cemento.
2. El grafito se suspendía en la mezcla porque su densidad es muy baja.
3. A la hora de realizar las mezclas de concreto en el laboratorio, cabe señalar que la mezcla de control, requirió mayor cantidad de agua a comparación a la modificada. Se sospecha que esto ocurrió debido a la propiedad que tiene el grafito de repeler el agua, lo que permitió que los componentes de la mezcla no absorbieran mayor cantidad de agua. En lo referente a la literatura, la relación agua/cemento es uno de los principales factores por lo que una mezcla puede alcanzar o no la resistencia deseada.
4. De acuerdo a la literatura (Kosmalka et al.,2004) la resistencia que alcanza un concreto a los 7 días es de un porcentaje aproximado del 75% a la de los 28 días y subsecuente a los días 56 y 90 son de 10% y 15% superior a los 28 días. Para probar que esta premisa puede ser de utilidad, se realizó el cálculo para ambas mezclas a través de la obtención de los resultados a los 7 días del ensayo de compresión. La mezcla de concreto simple presentó un $f'c$ 129.04 y con el cálculo se esperaba a los 28 días un $f'c$ 161.3 y los resultados obtenidos (véase la **gráfica 5**) fue de un $f'c$ 162.89 discrepando con 1% (1.59kg) de exactitud.

Con la mezcla de grafito arrojó a los 7 días un $f'c$ 129.98 que de acuerdo al cálculo el $f'c$ a los 28 días sería de 162.47 pero se obtuvo un $f'c$ 176.38 y a diferencia de la mezcla de control, la premisa tiene un margen de error de 15.90kg.

5. Con respecto a los estudios posteriores que se puedan emplear para aplicar diversas cantidades suministradas de grafito en el concreto, se especula que una de las ventajas que brindaría al concreto reforzado es que tanto en concreto como el acero pueden prolongar su vida útil ante ambientes húmedos como las zonas costeras y/o montañosas con climas lluviosos o invernales.

R E F E R E N C I A S

REFERENCIAS

- Callister, W. D. (1995). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (1a ed., Vol. Barcelona). Editorial Reverté S.A. de C.V.
- García Olvera, H. (2019). La habitabilidad, lo arquitectónico y lo habitable en el sentido de la producción de lo biopsicosocial antropológico del ser humano vivo, viviente y habitador. *Academia XXII*, 10(20).
- White, S. (2019). The case of Grenfell tower, London 2017. *The material culture of architecture*, (35). <https://onsitereview.ca/>
- Fahlman, B. D. (2008). *Materials Chemistry* (second edition ed.). Springer.
<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-94-007-0693-4>
- Viñas, W. G., & Mancini, H. L. (2003). *Ciencia de los materiales* (Primera ed.). Ariel.
<https://books.google.com.mx/books?id=Jxz0jR2BriMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Valverde, M. (2022, 4 octubre). *¿Cómo se forma la materia? Tipos de enlaces químicos, ejemplos y características*. ZS España. <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/como-se-forma-la-materia-tipos-de-enlaces-quimicos-ejemplos-y-caracteristicas/>

SIEMCALSA. (2008). <http://www.siemcalsa.com>. Obtenido de <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los%20metales.pdf>

Hermida, Élide. (2011). Polímeros. En <https://www.virtualpro.co/biblioteca/polimeros>. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología - Instituto Nacional de Educación Tecnológica. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/polimeros>

Smith, W. F., & PhD, J. H. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (Cuarta edición ed.). The McGraw-Hill Companies, Inc.

Pinto, A. (2011). *Materiales y materias primas* (Vol. 6). Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

<http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/ceramicos.pdf>

Katz, M. (2011). *Materiales y materias primas* [[Http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007405.pdf](http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007405.pdf)]. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007405.pdf>

Callister, W. D. (2017). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (9 Barcelona ed.). Editorial Reverté.

ASM International. (2010). *Properties of materials: more than physical and chemical*.

Teacher manual: Everything material. Retrieved Agosto 15, 2020, from

[https://www.asminternacional.org/documents/10192/1942078/typesofproperties.p](https://www.asminternacional.org/documents/10192/1942078/typesofproperties.pdf)

df

Díaz-Rubio, F. G. (1999). *CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES CERÁMICOS AVANZADOS A ALTAS VELOCIDADES DE DEFORMACIÓN* [Tesis de doctorado]. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

García, E. R., Osorio Ramos, J., Rangel, E. R., Vázquez, E., Pérez de la Fuente, A., Rodríguez García, J. A. & Miranda Hernández, J. G. (2015, junio). Ceramic Matrix Composites Reinforced with Metal Nanoparticles. <http://www.multidisciplinarywulfenia.org/>.

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65135/5.%202015-CERAMIC%20MATRIX%20NANOPARTICLES.pdf?sequence=1>

Manutchehr, D. M. (2009). *Dictionary of Gems and Gemology* (3.^a ed.) [https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-3-540-72816-0_500]. Springer Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72816-0_500

Rosu, H. C. & Torres González, L. A. (2012). Grafeno: el alótropo más prometedor del carbono. *Acta Universitaria*, 22(3), 20-23. <https://doi.org/10.15174/au.2012.381>

Katsnelson, M. I. (2007). *Formas alotrópicas del carbono*. *Acta Universitaria*. <http://dx.doi.org/10.15174/au.2012.381>

Patente, M. (2018, 2 abril). *EL GRAFITO Y SUS APLICACIONES INDUSTRIALES*. Mi Patente. <https://www.mipatente.com/el-grafito-y-sus-aplicaciones-industriales/>

Grafito. (s. f.). <https://www.quimica.es/enciclopedia/Grafito.html>

Perfil de mercado del grafito. (2018). En *Secretaría de economía*. Secretaría de economía.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419272/Perfil_Grafito_2018__T_.pdf

Alzate, C. (2017). *Configuración hexagonal del grafeno como estructura principal de la Conformación de fullerenos, nanotubos y grafito*.

Fuentes, S. (2015). *Estructura atómica del grafito HOPG*.

DURÁN CONTRERAS, D. S. (2016). *EFFECTO DE PARTÍCULAS DE ARCILLA-LISINA, GRAFITO, NANOTUBOS DE CARBONO Y ADITIVOS ESPUMANTES SOBRE PROPIEDADES FISICOMECAÑICAS DE POLIPROPILENO [TESIS DE LICENCIATURA]*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

Paz Ortega, I., 2018. *EL GRAFENO, POSIBILIDADES DEL GRAFENO EN LA*

ARQUITECTURA. Licenciatura. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid Universidad Politécnica de Madrid.

Black, L., Purnel, P., & Hill, J. (2010). *Current themes in cement research. Advances in*

Applied Ceramics.

Vidaud, E. (2013, noviembre). De la historia del cemento. *Construcción y Tecnología en concreto*. <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/noviembre2013/ingenieria.pdf>

Neville, A. M. (2013). *Tecnología del concreto*. México. IMCyC.

<https://archive.org/details/TECNOLOGIADELCONCRETO/page/n7/mode/2up>

Gutiérrez de López, L., & Universidad Nacional de Colombia. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Colombia : Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Fuentes, Carhuavilca & Guerrero, Rivera & Guillén, Daniel & Josimar, Aguilar &

Mendoza, Antonio & Jhadir, Corcuera & Fia, Aci Usmp. (2020).

TRABAJABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO PARA DIFERENTES RELACIONES AGUA/ CEMENTO.

Hernández, C. F., Hernández, U. O., Pérez, A. F., & de la Osa, J. C.

(2019). *Comportamientos mecánicos de los materiales*. ResearGate.

https://www.researchgate.net/publication/348578293_COMPORTAMIENTO_MECANICO_DE_LOS_MATERIALES

IMCyC. (2006, julio 06). Los aditivos para concreto en seis pasos. *Construcción y tecnología*. Retrieved Noviembre 5, 2020, from

<http://www.imeyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>

CEMEX México. (n.d.). *Los aditivos y su clasificación*. Comunicados de Prensa.

Retrieved Nov 5, 2020, from

https://www.cemex.com/web/cemex-mexico/comunicados/comunicados-full-view/-/asset_publisher/dsI7rkVsUZp8/content/los-aditivos-y-su-clasificaci-1?_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_dsI7rkVsUZp8_redirect=https%3A%2F%2Fwww.

Silva, O. J. (2020). *GENERALIDADES Y TIPOS DE ADITIVOS PARA EL CONCRETO*

SEGÚN LA NTC 1299 (ARGOS, Ed.).

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto>

González Velázquez, V., 2015. *Nanomateriales De Carbono, Síntesis, Funcionalización Y*

Aplicaciones. Doctorado. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

DEPARTAMENTO CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES E

INGENIERÍA QUÍMICA.

Kaushlesh, K., 2017. Water Wetttable Graphite through Nanotechnology and its

Application in Refractories. *INTERCERAM*, (66), pp.30-35.

Yanturinaa, R., Trofimova, B. and Ahmedjanov, R., 2017. *The Influence of*

Graphite-Containing Nano-Additives on Thermo-Frost Resistance of Concrete.

Alcaide Romero, J. S. (2007). *Caracterización de morteros con adición o sustitución de*

diferentes materiales carbonosos. Universidad de Alicante, Alicante, España.

Liu, S. H., Wu, M. Q., Rao, M. J., Li, L. H., & Xiao, H. L. (2019). Preparation,

properties, and microstructure of graphite powder-containing conductive concrete.

Strength of Materials, 51(1), 76–84.

De Jesus Herrera Joel, et. al. Ma (2014) Manual de prácticas de laboratorio. UACH

Tamayo, K. N. (2004). *Diseño Y Control De Mezclas De Concreto - (Ira*

Edición). 7–9.

Tahuiton Mora, A. (2018). *Evaluación de piezas de mampostería ligera con uso*

estructural [Tesis de maestría]. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

Álvarez Mejía, D. (2014). *EVALUACIÓN DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO DE PIEDRA POR DESECHOS DE LA INDUSTRIA DEL PAPEL* [TESIS DE LICENCIATURA]. UNIVERSIDAD EAFIT.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. & Tanessi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1.^a ed.). Portland Cement Association.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Composición química del Cemento Portland.*

Tabla 2. *Clasificación de los cementos y sus características.*

Tabla 3. *Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua.*

Tabla 4. *Agregados de acuerdo a la norma ASTM C 294-86.*

Tabla 5. *Granulometría para una muestra de 800 gr. de arena.*

Tabla 6. *Granulometría para una muestra de 800 gr. de grava.*

Tabla 7. *Agregados de acuerdo a la norma ASTM C 294-86.*

Tabla 8. *Granulometría para una muestra de 800 gr. de arena.*

Tabla 9. *Granulometría para una muestra de 800 gr. de grava.*

Tabla 10. *Cálculo del peso volumétrico de grava gris 800 gr. en su estado compacto y seco suelto.*

Tabla 11. *Cálculo del peso volumétrico de grava gris 800 gr. en su estado compacto y seco suelto.*

Tabla 12. ACI 211.1-91 91 *Contenido de agua y aire aproximados para diferentes Tamaños máximos nominales de los agregados.*

Tabla 13. ACI 211.1-91 91 *Relación agua cemento y resistencia a la compresión del concreto.*

Tabla 14. ACI 211.1-91 91 *Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.*

Tabla 15. *Conversión de materiales de metro cúbicos a litros y kilogramos.*

Tabla 16. *Material necesario para 15 especímenes de control (CS).*

Tabla 17. *Material necesario para especímenes de 15 cubos de concreto modificado con grafito (CG).*

Tabla 18. *Análisis de los precios unitarios para CS.*

ÍNDICE DE FIGURAS

Esquema 1. Elordenmundial.com (2021). *Extracción mundial de grafito.*

Figura 1. Couleur, (2018). *Primeros materiales usados por el hombre prehistórico.*

Figura 2. Brown, LeMay, Jr., Bursten y Burdge (2004). *Ilustración de los estados de la materia.*

Figura 3. Armijo Barragán, M. C. (2015). *Unidades estructurales.* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Figura 4. Katsnelson, 2007. *Formas alotrópicas del carbono*

Figura 5. «Perfil de mercado del grafito», 2018. *Emplazamiento principal de extracción de grafito en México.*

Figura 6. «Perfil de mercado del grafito», 2018. *Clasificación del grafito natural de acuerdo a su forma.*

Figura 7. Silvina Fuentes, 2015. *Estructura atómica del grafito HOPG.*

Figura 8. Durán Contreras, 2016. *Estructura del grafito natural*

Figura 9. Neville, A. M. 2013. *Aparato de Vicat.*

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Paz, O. (2011). *Tabla periódica que clasifica a los elementos por su número atómico (número de protones).*

Imagen 2. Chang y College (2002). *Conformación de un compuesto.*

Imagen 3. Fabricación del Cemento Portland, tomado del libro *Diseño y control de mezclas de concreto* del Portland Cement Association.

Imagen 4. *Edad de ensayos a la compresión según NMX-C-083-ONNCCE-2014.*

Imagen 5. *Identificación de materiales para realización de mezclas.*

Imagen 6. *Preparación de moldes para vaciado de concreto.*

Imagen 7. *Procedimiento de elaboración de mezclas.*

Imagen 8. *Vaciado, varillado y enrase de la mezcla.*

Imagen 9. *Desmolde de las piezas de la mezcla de control y de grafito.*

Imagen 10. *Especímenes de control (15) parte superior y especímenes con grafito (15) parte inferior.*

Imagen 11. *Desglose del método de medición en los especímenes CS y CG.*

Imagen 12. *Registro de los pesos de cada muestra de concreto.*

Imagen 13. *Ensayo de las pruebas de compresión de los cubos de la mezcla de control y de grafito.*

Imagen 14. *Rotura esperada en especímenes cúbicos de concreto.*

Imagen 15. *Falla esperada de las pruebas cúbicas a los 7 días con relación a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014.*

Imagen 16. *Falla esperada de las pruebas cúbicas a los 14 días con relación a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014.*

Imagen 17. *Falla esperada de las muestras a los 28 días con relación a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014.*

Imagen 18. *Componentes y regiones de la curva Esfuerzo- Deformación, obtenida de Tahuiton (2018).*

Imagen 19. *Imágenes al microscopio grafito y restos de una probeta CG.*

Imagen 20. *Pruebas visuales en un lapso de tiempo de absorción del agua en muestras de concreto.*

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Chang, R. (2002). *Clasificación de la materia.*

Diagrama 2. Elaboración propia. Adaptado de William D.Callister. (2018). *Clasificación de los materiales por manufactura.*

Diagrama 3. SIEMCALSA. (2008) *Clasificación de los metales.* Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León, S.A.

Diagrama 4. F. López- Charrasquero. (2014) *Clasificación de los polímeros de acuerdo a su origen*. Elaboración propia.

Diagrama 5. Elaboración propia. (2020). *Clasificación de los cerámicos*.

Diagrama 6. Pinto, A. (2010). *Clasificación de cerámicos avanzados*. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Diagrama 7. Elaboración propia. (2020). *Materiales compuestos, sus matrices y sus relaciones*.

Diagrama 8. Elaboración propia. (2020). *Propiedades de los materiales*.