



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
ESCUELA DE INGENIERÍA MAZATLÁN



LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL.

TESIS DE INVESTIGACIÓN

CONCRETOS ESPECIALES, USOS E IMPLEMENTACIONES EN OBRA CIVIL.

PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

PRESENTADO POR

ISSAID ALBERTO IRIBE LÓPEZ

DIRECTORES DE TESIS

DR. JESUS MANUEL BERNAL CAMACHO

DRA. KARLA KARINA ROMERO VALDEZ

MAZATLÁN, SINALOA, DICIEMBRE 2022.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que estuvieron presentes y me apoyaron en la realización del presente trabajo de investigación.

A mi familia por haber estado apoyándome y acompañándome a lo largo de esta travesía, a mi madre por su constante guía, cariño y apoyo que me ha permitido perseverar y seguir esforzándome en alcanzar mis metas, a mis hermanos que siempre han estado allí para animarme, a mi abuela que durante todos mis años de estudio me apoyo para que continuara preparándome.

A mis directores de tesis, el Dr. Jesús Manuel Bernal Camacho y la Dra. Karla Karina Romero Valdez, por su guía a lo largo de este proyecto, por estar constantemente apoyándome, resolviendo mis dudas y brindándome consejos para poder culminar esta investigación.

A mis amigos y compañeros de clases que pasaron conmigo todos estos años de formación académica, que animaron mis días, y me brindaron su apoyo cuando los necesitaba.

Finalmente extendo mi gratitud a la Universidad Autónoma de Sinaloa, por ser mi alma máter y permitir el desarrollo de mi formación académica.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.2. Planteamiento del problema.....	12
1.3. Justificación.....	13
1.4. Objetivos.....	13
1.5. Hipótesis.....	14
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Concreto.....	15
2.1.1. Definición de concreto.....	15
2.1.2. Componentes del concreto.....	15
2.1.2.1. Cemento.....	15
2.1.2.2. Agua.....	16
2.1.2.3. Agregados.....	17
2.1.2.4. Aditivos.....	18
2.1.2.5. Adiciones minerales.....	18
2.1.3. Propiedades del concreto.....	19
2.1.3.1. Estado Fresco.....	19
2.1.3.1.1. Trabajabilidad.....	20
2.1.3.1.2. Consistencia.....	20
2.1.3.1.3. Aire ocluido.....	20
2.1.3.1.4. Temperatura.....	21
2.1.3.2. Estado Endurecido.....	21

2.1.3.2.1. Mecánicas.....	22
2.1.3.2.1.1. Resistencia a la compresión.....	22
2.1.3.2.1.2. Resistencia a la flexión.....	22
2.1.3.2.1.3. Módulo de elasticidad.....	23
2.1.3.2.2. Durables.....	24
2.1.3.2.2.1. Resistencia a la abrasión.....	24
2.1.3.2.2.2. Resistencia a los cloruros.....	24
2.1.3.2.2.3. Resistencia a los sulfatos.....	25
2.1.3.2.2.4. Carbonatación.....	25
2.2. Concretos especiales.....	26
2.2.1. Concretos especiales presentes en las normas mexicanas.....	26
2.2.1.1. Concreto autocompactante.....	26
2.2.1.2. Concreto de alta resistencia.....	29
2.2.1.3. Concreto ligero.....	32
2.2.1.4. Concreto lanzado.....	34
2.2.1.5. Concreto reciclado.....	37
2.2.1.6. Concreto reforzado con fibras.....	39
2.2.2. Concretos especiales no presentes en las normas mexicanas.....	43
2.2.2.1. Concreto masivo.....	43
2.2.2.2. Concreto compactado con rodillo (CCR).....	45
2.2.2.3. Concreto permeable (poroso).....	48
2.2.2.4. Concreto de alta densidad (pesado).....	50
2.2.2.5. Concreto de contracción compensada (Expansivo).....	54
2.2.2.6. Concreto Antibacteriano.....	56

2.2.2.7. Concreto translúcido.....	57
2.2.2.8. Concreto coloreado.	59
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	62
3.1. Selección de documentos.....	62
3.2. Definición de las bases conceptuales.....	63
3.3. Procesamiento y análisis de la información documental.....	63
3.4. Redacción del documento de investigación.....	63
CAPITULO IV. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	64
4.1. Concretos especiales aplicados en obras civiles.....	64
4.1.1. Obras de concreto autocompactante.	64
4.1.1.1. Puente de Akashi Kaikyō.....	64
4.1.2. Obras de concreto de alta resistencia.....	65
4.1.2.1. Rascacielos Burj Khalifa.	65
4.1.3. Obras de Concreto lanzado.	66
4.1.3.1. Central Hidroeléctrica Nathpa Jhakri.	66
4.1.4. Obras de concreto masivo.	67
4.1.4.1. Puente Pumarejo.....	67
4.1.5. Obras de concreto compactado con rodillo (CCR).....	69
4.1.5.1. Presa El Zapotillo.....	69
4.1.6. Obras de concreto de alta densidad.....	70
4.1.6.1. Laboratorio de luz del Sincrotrón, proyecto Túnel Alba.	70
4.1.7. Obras de concreto antibacteriano.	72
4.1.7.1. Salón de la Fama del Beisbol Mexicano.....	72
4.1.8. Obras de concreto translucido.	73

4.1.8.1. Pabellón Italiano en la expo de Shanghái.....	73
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ensayo de escurrimiento en embudo V.....	27
Figura 2. Ensayo en anillo J.	28
Figura 3. Colocación de concreto autocompactante.....	28
Figura 4. Ejemplo de una obra donde se utilizó el concreto autocompactante.....	29
Figura 5. Ejemplo de uso del Concreto de alta resistencia en un puente.....	31
Figura 6. Vista Exterior de la Lake Point Tower.....	31
Figura 7. Porosidad del concreto ligero.	32
Figura 8. Ejemplo de edificación donde se utilizó concreto ligero.	33
Figura 9. Aplicación del concreto lanzado.	36
Figura 10. Ejemplo de obra donde se empleó el concreto lanzado.	37
Figura 11. Aplicación del Concreto Reciclado.	39
Figura 12. Tipos de fibras empleadas en el concreto.	41
Figura 13. Vista de un concreto reforzado con fibras en estado endurecido.....	43
Figura 14. Aplicación del concreto masivo en una cimentación.	44
Figura 15. Ejemplo de concreto masivo utilizado en una obra.	45
Figura 16. Aplicación de Concreto compactado con rodillo vibratorio.	46
Figura 17. Aplicación del Concreto Compactado con Rodillo en la presa Zapotillo, en Jalisco, México.	47

Figura 18. Aplicación del concreto permeable.....	49
Figura 19. Ejemplo del efecto del desarrollo de bajo impacto utilizando concreto permeable.	50
Figura 20. Aplicación del concreto de alta densidad como blindaje de radiación en una planta nuclear.....	51
Figura 21. Aplicación del concreto pesado en una estructura hospitalaria expuesta a radiación.....	53
Figura 22. Aplicación del Concreto de Contracción Compensada en un piso industrial.....	54
Figura 23. Comparación de las características del cambio de longitud entre el concreto de cemento portland y el concreto de cemento tipo K (Concreto expansivo).	55
Figura 24. Aplicación del concreto antibacteriano en una sala del sector salud con alto riesgo de presencia de bacterias.....	57
Figura 25. Bloque de concreto translucido.	58
Figura 26. Aplicación del concreto translucido en una edificación.....	59
Figura 27. Elementos de diversas tonalidades de concreto coloreado.....	60
Figura 28. Aplicación del concreto coloreado para el diseño de un piso.	61
Figura 29. Puente de Akashi Kaikyō.....	64
Figura 30. Rascacielos Burj Khalifa.....	65
Figura 31. Proyecto hidroeléctrico Nathpa Jhakri.	66
Figura 32. Esquema general de torres de atirantamiento del puente Pumarejo...	67
Figura 33. Puente Pumarejo, Colombia. Con vista de los encepados hechos de concreto masivo.	68
Figura 34. Presa el Zapotillo, Jalisco, México.....	69
Figura 35. Vista aérea del Sincrotrón ALBA.	71

Figura 36. Vista del interior del túnel ALBA.	71
Figura 37. Vista exterior del Salón de la Fama del Beisbol Mexicano.	72
Figura 38. Vista exterior del Pabellón Italiano presente en la exposición internacional de Shanghái 2010.	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impurezas máximas en el agregado reciclado. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)	38
Tabla 2. Características de Macrofibras y Microfibras. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte II), 2015)	42
Tabla 3. Propiedades Físicas de Agregados y Concretos Típicos de Alta Densidad. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)	52

INTRODUCCIÓN.

El concreto es el material más empleado en el ámbito de la construcción a nivel mundial, derivado de esto, un gran número de investigaciones dentro de la ingeniería civil se han inclinado actualmente por el desarrollo e implementación de nuevos concretos con características especiales.

Los avances tecnológicos juegan un papel importante en lo referente a esta temática, a través del desarrollo de materiales y aditivos que al incorporarlos a las mezclas de concreto, modifican significativamente el comportamiento de este material tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Lo anterior, ha dado paso a la aparición de una gama de concretos con características especiales, que han facilitado la construcción y desarrollo de proyectos que anteriormente parecieran imposibles de concebir. Entre estos destacan concretos con propiedades singulares en estado fresco y endurecido que portan características distintas al concreto convencional.

Estos concretos denominados como especiales por sus desempeños distintos al compararlos con el concreto convencional, con el paso de los años han adquirido mayor relevancia y ha sido cada vez más común el verlos empleados en obras emblemáticas, lo que causo que dentro de la construcción se busquen aún más formas de aplicarlos, al igual que encontrar sus puntos positivos y las desventajas que se pueden presentar, por lo que actualmente el desarrollo de normativa a nivel internacional para estos es un tema de suma importancia, puesto que al tener una guía para seguir al aplicarlos, facilitaría el empleo correcto de estos, así como brindaría más seguridad para el constructor. Desafortunadamente al ser materiales que se siguen desarrollando, no se puede encontrar normativa para toda la amplia gama de concretos existentes, pero cabe destacar que los más utilizados ya cuentan con normativa proveniente principalmente del Instituto Americano del Concreto (ACI).

La presente investigación tiene estructura compuesta por cinco apartados, los cuales son:

El primer capítulo integra las generalidades de la investigación necesarias para la definición del objeto de estudio, contiene los antecedentes de la temática, el planteamiento y descripción del problema, la justificación, los objetivos de la presente investigación, hasta llegar al planteamiento de la hipótesis.

Sobre la base de esta estructura, el segundo capítulo engloba el marco teórico y normativo el cual da sustento a la investigación, haciendo énfasis de manera inicial en el concreto convencional, debido a que es necesario conocer las características de este, para poder llegar a compararlo frente a los concretos de características especiales. De igual manera se abordan los materiales de composición del concreto, las propiedades mecánicas y durables más relevantes.

Aunado a lo anterior este apartado enfatiza en la descripción, caracterización y aplicación de los concretos especiales, y su base en la normativa vigente.

De la misma forma el tercer capítulo detalla la metodología empleada para el desarrollo de la presente tesis, especificando el enfoque, así como las técnicas de investigación utilizadas.

El capítulo cuatro denominado interpretación de la información, presenta la aplicación de los concretos en estudio a través de su implementación en una serie de obras emblemáticas a nivel global.

Finalmente, este texto expone las conclusiones y recomendaciones derivadas de la labor investigativa.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La historia del concreto se remonta a varios siglos atrás, ya que el hombre se vio en la necesidad de usar antecesores del cemento el cual es el principal componente del concreto, es decir materiales cementantes como una mezcla de cal y arena para mantener juntas piedras cuando se construía un refugio. A partir de esto se fue volviendo común el empleo de morteros por lo que fueron evolucionando con las civilizaciones antiguas que los elaboraron de distintas maneras como por ejemplo los griegos que utilizaban una mezcla de materiales provenientes de depósitos volcánicos, con caliza, agua y arena.

Del uso de los morteros se llegó al surgimiento del cemento, siendo el primero el llamado cemento romano creado accidentalmente en el siglo XVIII por el reverendo inglés James Parker, el cual se empezó a utilizar en obras en el Reino Unido. (Vidaud E. , 2013)

Del cemento romano procedió el surgimiento del cemento Portland, el cual es el principal material empleado en la elaboración de concreto aun en la actualidad. Joseph Aspdin y James Parker patentaron el 21 de octubre de 1824 el primer Cemento Portland, obtenido a partir de caliza arcillosa y carbón; calcinados a alta temperatura. (Vidaud E. , 2013)

En 1845 Isaac Johnson mejoro el proceso de producción aumentando la temperatura de calcinación, con lo que obtuvo el prototipo del cemento moderno elaborado con base en una mezcla de caliza y arcillas calcinadas a altas temperaturas hasta que se formara Clinker, por lo que se reconoce a Johnson como el padre del cemento Portland moderno. (Vidaud E. , 2013)

El desarrollo del concreto propiamente dicho, como material de construcción, empezó hacia principios del siglo XIX poco después de la obtención de la patente del cemento Portland y posteriormente se afianzó con la invención del concreto armado que se atribuye al jardinero parisiense Jack Monier, quien, hacia el año 1861, fabrico un jarrón de mortero de cemento, reforzado con un enrejado de

alambre. Este material se vino a conocer como ferrocemento, un siglo más tarde. (Sánchez de Guzmán, 2001)

A partir de que en el siglo XIX se comenzara con el uso del concreto, para el año de 1903 se comenzaron a introducir innovaciones en este, desde mejoras en sus métodos constructivos, maneras más eficientes de elaborarlo y emplearlo, entre otras cosas. (CEMEX, 2018)

Para el año de 1930 se tiene un antecedente de la elaboración de concretos especiales que fue el uso de agentes inclusores de aire con el fin de evitar el daño por congelamiento. (CEMEX, 2018)

Durante el siglo XX se comenzó la investigación y elaboración de estos concretos con características especiales, como por ejemplo la búsqueda de concretos de resistencia mayor para la elaboración de edificios más grandes, la inclusión de cenizas volantes en la elaboración de concreto en 1985 que dio inicio al uso de adiciones minerales, la creación del concreto autocompactante en japon en 1988, entre otras investigaciones que se realizaron como el desarrollo de concretos con fibras y el concreto compactado con rodillo.

Todas estas investigaciones y creaciones de este tipo de concretos, ocasiono que en los últimos años estos materiales se emplearan más hasta ser una parte importante en el ámbito de la construcción ya que gracias a al desarrollo e investigación de estos recientemente se ha dado solución a la constante de necesidad de innovar en la construcción.

1.2. Planteamiento del problema.

El crecimiento exponencial de los proyectos de construcción cada vez más innovadores a nivel mundial, requiere de la generación continúa de materiales de construcción que den solución a nuevos retos de la ingeniería civil. Al ser el concreto el material más empleado, se requieren nuevas variantes que atiendan la demanda de formas arquitectónicas innovadoras, procesos constructivos complejos, y propiedades físicas, mecánicas y durables con un mayor alcance.

1.3. Justificación

Dentro de la formación del ingeniero civil una de las temáticas más importantes es el uso del concreto convencional, pero dentro de esta misma formación se deja a un lado un tema que ha crecido exponencialmente a lo largo de los años el cual es la innovación que se ha hecho en el mejoramiento de las propiedades de este material para llegar a lo que hoy se conoce como concretos especiales. Por lo que la presente investigación pretende hacer una recopilación de los concretos especiales más usados en la actualidad, que permita conocer las propiedades que los distinguen, sus características, si tienen normas tanto nacionales como internacionales, y los usos que se le pueden dar. Esto para dar a conocer estos nuevos materiales que en un futuro cercano el saber su correcta aplicación será de suma importancia para el ingeniero civil.

1.4. Objetivos

General

Analizar los diferentes tipos de concretos especiales que actualmente existen en el ámbito de la construcción a nivel mundial, destacando sus principales aportaciones mediante el estudio de sus propiedades, implementaciones y limitantes, además de señalar la normativa que los regula a nivel nacional e internacional.

Específicos

- Identificar los principales concretos especiales que actualmente se utilizan en la construcción en el ámbito internacional.
- Analizar las ventajas y limitantes de las propiedades de los concretos especiales para compararlas con los concretos convencionales.
- Destacar las principales ventajas que aportan los concretos especiales durante la ejecución de los procesos constructivos.

- Estudiar proyectos emblemáticos que muestren el uso de concretos especiales y destacar áreas de oportunidad.

- Revisar la normativa vigente nacional e internacional para detectar los organismos que regulan la correcta fabricación e implementación de estos materiales.

1.5. Hipótesis

El uso de concretos especiales aplicados en edificaciones y obra civil, ofrece beneficios tales como: disminución en plazo de ejecución de obra, minimización de costos, aplicación en situaciones de riesgos y vulnerabilidad, optimización de procesos constructivos, entre otros.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Concreto.

2.1.1. Definición de concreto.

El concreto es el principal material utilizado en construcción, el cual está compuesto por cemento, agua, agregados y en algunas ocasiones aditivos. Este material consiste en un medio conglomerante dentro del cual se encuentran ahogadas partículas o fragmentos de agregados. Generalmente el medio conglomerante está formado por la mezcla de cemento hidráulico y agua.

Según la ACI 116 el concreto es un material compuesto que consiste en un medio ligante dentro del cual hay partículas o fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y agregado grueso; en el concreto de cemento portland el ligante es una mezcla de cemento portland y agua. (ACI 116R-00)

El concreto puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Sánchez de Guzmán, 2001)

2.1.2. Componentes del concreto.

2.1.2.1. Cemento.

El cemento es un material finamente pulverizado que no es en sí mismo conglomerante, sino que desarrolla la propiedad conglomerante como resultado de la hidratación (es decir, por las reacciones químicas entre los minerales del cemento y el agua). Un cemento es llamado hidráulico cuando los productos de la hidratación son estables en un medio acuoso. El cemento hidráulico más comúnmente usado para hacer concreto es el cemento portland, que consiste principalmente de silicatos de calcio hidráulico. Los hidratos de silicato de calcio que se forman con la hidratación del cemento portland son los responsables principales de su

característica adherentes y son estables en un medio acuoso. (Mehta & Monteiro, 1998)

Existen diferencias entre los cementos hidráulicos y los no hidráulicos, siendo los primeros definidos como aquellos cementos que no solo se endurecen cuando reaccionan con el agua, sino que también forman un producto resistente al agua. Mientras que los cementos derivados de la calcinación del yeso o los carbonatos como la piedra caliza, no son cementos hidráulicos porque sus productos de hidratación no son resistentes al agua.

En la norma ASTM C 150 se define al cemento portland como un cemento hidráulico producido al pulverizar clinkers que consisten esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, generalmente que contienen una o más formas de sulfato de calcio como una adición en la intermolienda. (ASTM C 150-07)

Se entiende por cemento a un material aglomerante que cuenta con las propiedades de adherencia y cohesión, gracias a las que puede unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad apropiadas. En el medio de la construcción y de la elaboración de concreto, se reconoce que, al mencionar cemento, se está refiriendo al cemento portland o cemento a base portland, que tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua debido a la reacción química que presenta con esta, ya que este es el tipo de cemento más comúnmente utilizado en el ámbito de la construcción.

2.1.2.2. Agua.

El agua se puede definir como aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. (Sánchez de Guzmán, 2001)

En México la norma mexicana NMX-C-283-ONNCCE-2018 establece los métodos de análisis para determinar los parámetros químicos del agua, a fin de conocer su calidad y sus posibilidades de uso en la fabricación y curado del concreto.

La Norma Técnica Colombiana NTC 3459 señala que el agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que pueden ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. (NTC 3459)

2.1.2.3. Agregados.

De acuerdo a la definición que se encuentra en la ACI 116 el agregado es un material granular, tal como la arena, grava, piedra molida, concreto de cemento hidráulico molido o escoria de alto horno molida, empleado junto con un medio de cemento hidráulico para elaborar concreto. (ACI 116R-00)

Los agregados también llamados áridos, son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia de agua conforman un todo compacto conocido como concreto u hormigón. Como agregados para concreto se pueden considerar todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del concreto y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento portland. (Sánchez de Guzmán, 2001)

En la elaboración de concreto se utilizan dos tipos de agregados, los cuales son los agregados gruesos y finos.

Los agregados gruesos son las partículas de agregado mayores de 4.75 mm, es decir el agregado que es predominantemente retenido sobre un tamiz de 4.75 mm (No 4). El agregado grueso más utilizado es la grava y esta es la que resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesamiento de conglomerado de adherencia débil.

Mientras que los agregados finos son las partículas de agregado menores de 4.75 mm, es decir que atraviesan el tamiz del No 4, pero son mayores de 75 μ m, es decir

son retenidos en la malla No 200. El agregado fino más común es la arena la cual resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesado de piedra caliza deleznable.

2.1.2.4. Aditivos.

En la ACI 116 se señala que un aditivo es un material que se incorpora junto con un cemento hidráulico o se mezcla en cantidades limitadas con el mismo, ya sea como “aditivo de procesamiento” para facilitar la fabricación o manipulación del cemento o como “aditivo funcional” para modificar las propiedades del producto acabado. (ACI 116R-00)

Por lo que podemos definir a los aditivos como los materiales diferentes a los componentes esenciales del concreto que son los agregados, el cemento y el agua, que se agregan a la mezcla de concreto antes o durante su mezclado. El uso de estos es muy común en la actualidad ya que se obtienen muchos beneficios en su aplicación. Como el principal ejemplo se tiene a los aditivos químicos los cuales pueden modificar el fraguado y las características de endurecimiento de la pasta de cemento, ya que estos influyen en la velocidad de hidratación.

Un aditivo se puede definir como un producto químico que, excepto en casos especiales, se agrega a la mezcla de concreto en cantidades no mayores de 5 por ciento por peso de cemento durante el mezclado o durante una operación adicional de mezclado antes de la colocación del concreto, para el propósito de realizar una modificación específicas o modificaciones, a las propiedades normales del concreto. Los aditivos pueden ser orgánicos o inorgánicos en cuanto a la composición, pero su carácter químico, que difiere del mineral, es su característica esencial. (Neville A. M., 1995)

2.1.2.5. Adiciones minerales.

El uso de adiciones minerales en el concreto, no es una tecnología reciente, Maliowski reporta un viejo ejemplo que data de 5000-4000 años A. C., la cual fue una mezcla de limos y una puzolana natural, los viejos escritos del ingeniero romano Marcus Vitrubius Pollio, reportan cementos hechos por los griegos y romanos, los

que describe como de durabilidad superior, el indica que los romanos desarrollaron técnicas superiores mediante el uso de una combinación de limos y puzolanas. Actualmente, el uso de adiciones minerales al concreto y al cemento, se ha difundido mundialmente, estando en boga el uso de materiales como la ceniza volante y el filler calizo, este incremento en el uso de estos materiales se debe principalmente a las mejoradas propiedades del concreto tanto en estado endurecido como en estado fresco; este incremento de trabajabilidad, durabilidad y según sea el caso de resistencia, hacen que el uso de adiciones ya sean naturales o artificiales sea muy recomendado para el concreto. (Portugal Barriga, 2007)

A diferencia de los aditivos, que nos permiten obtener propiedades determinadas, las adiciones son productos de origen mineral, que se encuentran finamente divididas, cuyo propósito al introducirse a la mezcla de concreto es reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio, el cual resulta del proceso de hidratación del cemento, para formar tobermorita adicional, lo cual disminuye o elimina los poros capilares, lo que incrementa las resistencias mecánicas de la pasta y la durabilidad del concreto. Las principales adiciones minerales son la ceniza volante, la escoria granulada de alto horno, el humo de sílice, el esquisto calcinado y la arcilla calcinada.

2.1.3. Propiedades del concreto.

2.1.3.1. Estado Fresco.

El estado fresco del concreto es aquel que se puede moldear debido a su plasticidad, esta tiene un tiempo que va desde que abandona la mezcladora hasta el momento en que inicia el fraguado, este tiempo varía dependiendo del tipo de cemento, agregado, agua y en algunas ocasiones en si se implementa un aditivo o no. Las principales propiedades de este estado son la consistencia, trabajabilidad y la homogeneidad.

El concreto en estado fresco es realmente una suspensión concentrada de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento), la pasta de cemento a su vez no es un fluido homogéneo y está compuesta de partículas

(granos de cemento) en un líquido (agua). Por lo tanto, el concreto en estado fresco en una escala macroscópica fluye como un líquido. (Portugal Barriga, 2007)

2.1.3.1.1. Trabajabilidad.

Según el comité 211 de la ACI, la manejabilidad, también llamada trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente para ser terminado sin segregación alguna. (ACI 211)

La forma de medir la trabajabilidad o manejabilidad, es a través del ensayo del revenimiento, cuyo método de ensayo para el caso de México se encuentra explicado en la norma NMX-C-156-ONNCCE, donde se explica paso a paso como elaborar este ensayo, así como los parámetros de revenimiento que debe tener el concreto para tener una trabajabilidad aceptable según el uso que se le vaya a dar.

2.1.3.1.2. Consistencia.

En términos generales, la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla. (Sánchez de Guzmán, 2001)

2.1.3.1.3. Aire ocluido.

Durante las operaciones de dosificación y mezclado del concreto, es introducido un volumen de aire que es variable en cantidad, forma y tamaño de las burbujas, denominado comúnmente “aire naturalmente atrapado”, el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación, para evitar aligeramiento en la masa endurecida y por lo tanto descensos en la resistencia. Por otra parte, en algunas ocasiones se introduce intencionalmente aire en el concreto fresco, en forma de pequeñas burbujas (aproximadamente de 1 mm de diámetro o más pequeñas) que se distribuyen uniformemente y aisladas para mejorar la durabilidad del concreto o para aumentar la manejabilidad. (Sánchez de Guzmán, 2001)

En México la norma NMX-C-157-ONNCCE nos señala el método para determinar el contenido de aire del concreto fresco con base en la observación del cambio en el volumen del concreto con respecto a un cambio de presión.

2.1.3.1.4. Temperatura.

La temperatura del concreto fresco depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, ya que la influencia de cada material depende de su calor específico, de su masa, y de su temperatura, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía añadida durante el mezclado y el calor absorbido o entregado al medio ambiente. Las normas estipulan una temperatura de la mezcla de concreto fresco comprendida entre 10 y 29°C en climas cálidos; sin embargo, la máxima establecida es de 32°C, por razones de velocidad de hidratación y endurecimiento del cemento, ya que a una mayor temperatura se produce una hidratación más rápida, pero menos eficiente, y por lo tanto un fraguado acelerado, dando lugar a una estructura física menos uniforme y pobre. (Sánchez de Guzmán, 2001)

La norma mexicana NMX-435-ONNCCE es la que establece el método de ensayo para determinar la temperatura del concreto en estado fresco, así como los parámetros que se deben de tener en cuenta para el empleo de este.

2.1.3.2. Estado Endurecido.

Las propiedades que presenta el concreto endurecido son la resistencia mecánica (compresión, tracción y flexión), la elasticidad, resistencia eléctrica, resistencia al fuego, resistencia a la abrasión y durabilidad. El concreto ofrece una alta resistencia a la elasticidad, al paso de la corriente hacia el acero con el que está en contacto, surgiendo del electrolito dentro del concreto. El concreto endurecido presenta propiedades de resistencia, densidad, permeabilidad, retracción y propiedades térmicas, uno de los principales factores que influye en la resistencia del concreto es un buen curado. El curado es el nombre que se le da a los procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento; consiste en un control de temperatura y en el movimiento de humedad, a partir de la superficie hacia dentro

del concreto. El objetivo es mantenerlo saturado hasta que el espacio que había sea llenado con agua. (Neville A. M., 1995)

2.1.3.2.1. Mecánicas.

2.1.3.2.1.1. Resistencia a la compresión.

La resistencia es una medida de la cantidad de esfuerzo requerido para hacer fallar un material. La teoría del esfuerzo del trabajo para el diseño de concreto considera que es la más adecuada para soportar la carga de compresión; ésta es la razón por la cual la resistencia a la compresión del material es la que se especifica más generalmente. Puesto que la resistencia del concreto es una función del proceso de hidratación, que es relativamente lento, tradicionalmente las especificaciones y las pruebas para la resistencia del concreto se basan en muestras curadas bajo condiciones estándar de temperatura y humedad, por un período de 28 días. (Mehta & Monteiro, 1998)

La resistencia del concreto depende principalmente de la cohesión de la pasta de cemento, de la adhesión a las partículas de los agregados, así como de la resistencia del agregado mismo. La resistencia a la compresión del concreto es el principal determinante del uso que se le dará al concreto y con esta se comprueba si la dosificación de la mezcla puede cumplir con la resistencia para la que se diseña, así como si se debe ajustar a las necesidades que se tienen.

La norma NMX-C-083-ONNCCE-2020 establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión y se aplica a especímenes cilíndricos, cúbicos y prismáticos, moldeados o extraídos de concreto endurecido de una masa volumétrica mayor que 800 kg/m^3 .

2.1.3.2.1.2. Resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con largo de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el

Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa). (NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association, 2017)

En el caso de esta propiedad del concreto en estado endurecido en México se tiene la norma NMX-C-191-ONNCCE que nos señala el método de prueba para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, usando una viga simple con carga en los tercios del claro.

2.1.3.2.1.3. Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad se define como la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria reversible. En materiales homogéneos, el módulo de elasticidad es una medida de las fuerzas de adherencia interatómicas y no es afectado por cambios microestructurales. Esto no es verdad para materiales heterogéneos como el concreto. El módulo de elasticidad del concreto a la compresión varía de 14×10^3 al 40×10^3 Mpa. (Mehta & Monteiro, 1998)

Entonces se puede decir que el módulo de elasticidad del concreto es un índice de la rigidez del material, el cual está representado por la relación que existe entre los esfuerzos a los que se encuentra sometido y las deformaciones unitarias correspondientes. Este puede variar debido a diversos factores como el estado de humedad, lo cual se puede notar ya que en el concreto en estado saturado se presenta un módulo de elasticidad más alto que en el estado seco, la compactación del concreto, la relación agua/cemento, la edad del concreto al momento del ensayo, las características de los agregados y algunos otros factores.

Para el módulo de elasticidad como normativa se tiene el PROY-NMX-C-128-ONNCCE-2019 el cual es un Proyecto de Norma Mexicana que establece el método de ensayo para la determinación del módulo de elasticidad estático secante (módulo de Young) y de la relación de Poisson. Este es aplicable a especímenes cilíndricos de concreto, moldeados o extraídos de la estructura, cuando se someten a esfuerzos de compresión longitudinal.

2.1.3.2.2. Durables.

Según el comité ACI-201, la durabilidad del concreto de cemento portland hidráulico se define como su resistencia a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. De tal manera que un concreto durable debe mantener su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente. (ACI 201.2R-01)

2.1.3.2.2.1. Resistencia a la abrasión.

De acuerdo al Comité ACI 116, la abrasión es el desgaste producido por acciones de fricción y frotamiento. Así mismo el comité del ACI 116 R define la resistencia a la abrasión como la capacidad de una superficie de resistir el desgaste por frotación o fricción. (ACI 116R-00)

Por lo que podemos notar que la abrasión es una importante acción mecánica que afecta a los elementos de concreto utilizados para soportar mucho tránsito ya sea de personas o vehículos, o que conducen líquidos, generando un desgaste. Los factores que más influyen en la resistencia a la abrasión del concreto, son la dosificación de la mezcla, su composición granulométrica, la resistencia de los agregados, el acabado que se le colocó, el curado y la resistencia mecánica del concreto.

La resistencia a la abrasión del concreto, por lo general, se ha evaluado dependiendo de la acción específica que se espera que cause el daño en la superficie del material, por lo que no hay un único método para determinarla, ni un único criterio de aceptación. Las pruebas más utilizadas para medir el desgaste se basan en el frotamiento de esferas, la aplicación de cepillos, o chorro de arena y el contacto con discos giratorios (Neville A. , 2010)

2.1.3.2.2.2. Resistencia a los cloruros.

La penetración de cloruros se produce cuando se dan diferencias de concentración entre dos puntos, lo que resulta ser el mecanismo de difusión en estructuras completamente sumergidas o en contacto permanente con agua de mar. La porosidad del concreto es sin duda un factor crucial en todos estos fenómenos, ya

que la penetración será más rápida cuando la porosidad del recubrimiento resulte ser mayor. Así, a bajas relaciones agua cemento y relativamente altos contenidos en cemento, dan una cierta garantía de lentas velocidades de penetración de los cloruros. El tipo de cemento y su capacidad de retener o combinar cloruros es otro de los parámetros relevantes del proceso. (López Celis, 2006)

2.1.3.2.2.3. Resistencia a los sulfatos.

Los mecanismos que intervienen en el ataque del concreto por sulfatos, aparentemente son dos reacciones químicas, a saber: Combinación de los sulfatos con hidróxido de calcio (cal hidratada), liberada durante el proceso de hidratación del cemento. Esta combinación forma sulfato de calcio. Combinación de yeso y aluminato hidratado de calcio para formar sulfoaluminato de calcio (etringita). Estas dos reacciones tienen como resultado un aumento del volumen sólido. A la segunda se le atribuye la mayoría de las expansiones y rupturas del concreto causadas por soluciones de sulfatos. (Sánchez de Guzmán, 2001)

Para que los sulfatos generen un daño considerable a las estructuras de concreto, se necesita que se presenten dos condiciones, la primera es que los sulfatos se encuentren en una solución acuosa y que la concentración de los sulfatos en esta solución sea alta.

2.1.3.2.2.4. Carbonatación.

La pérdida de alcalinidad del concreto se denomina como carbonatación. Este fenómeno ocurre cuando el dióxido de carbono CO_2 reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte al hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ con un pH de 12 a 13, a carbonato de calcio $CaCO_3$ que tiene un pH menos alcalino. Los factores que afectan durante la carbonatación son: el contenido de humedad; el contenido de CO_2 y SO_2 en el ambiente atmosférico; y la permeabilidad del concreto. El contenido de humedad relativa ambiental es un factor importante para que exista carbonatación, pero con mayor rapidez en el intervalo de 50 - 70% aproximadamente; a bajas humedades no hay suficiente agua en los poros del concreto para que se disuelva el dióxido de carbono y en humedades altas, los poros se bloquean y evitan el ingreso del dióxido de carbono. (López Celis, 2006)

2.2. Concretos especiales.

De acuerdo con las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto se define como concretos especiales aquellos que, por sus características y propiedades, tienen un desempeño diferente al de los concretos convencionales y que, por tanto, requieren modificar algunas expresiones de diseño. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017).

2.2.1. Concretos especiales presentes en las normas mexicanas.

2.2.1.1. Concreto autocompactante.

Según las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto se define como concreto autocompactante aquel que, como consecuencia de una dosificación adecuada y del empleo de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación, sin presentar segregación, bloqueo de agregado grueso, sangrado, ni exudación de la lechada. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

Así mismo la norma más reconocida internacionalmente sobre el concreto autocompactante es la ACI 237R-07, que se titula como “Self-Consolidating Concrete” (Concreto Autocompactante), en la cual se puede encontrar el método de dosificación, donde se establece una metodología de diseño de 8 pasos, partiendo de un criterio inicial, en el cual se define el comportamiento del escurrimiento deseado.

De acuerdo a la NTC antes mencionada, las propiedades de los materiales utilizados en la elaboración de este concreto solo tienen diferencias con el concreto tradicional en los agregados y los aditivos usados en este, ya que el cemento solo se debe utilizar el que resulte adecuado de acuerdo con la finalidad de su empleo en función del tipo y cantidad de adiciones que contenga, mientras que para los agregados se tiene un tamaño máximo de agregado limitado a 25 mm (1”), pero se recomienda que los tamaños máximos se encuentren entre 12 mm y 20 mm. Finalmente los componentes más importantes para la elaboración de este concreto

son los aditivos, ya que el requisito fundamental en este es el uso de un aditivo superplastificante y en ocasiones puede ser de utilidad el uso de un aditivo regulador de la viscosidad.

Las propiedades básicas que permiten diferenciar a este concreto son: Fluidez o habilidad de fluir sin ayuda externa y llenar el molde, resistencia al bloqueo o habilidad de pasar entre las barras de refuerzo, estabilidad dinámica y estática o resistencia a la segregación, que le permite alcanzar una distribución uniforme del agregado en toda su masa.

Las propiedades mecánicas de este tipo de concreto en comparación del concreto con compactación convencional son bastante similares, como que la resistencia a la compresión se puede considerar equivalente, solo teniendo en cuenta la posibilidad de un retraso en la ganancia de resistencia inicial debido a las dosis mayores de aditivos utilizados. Mientras que el módulo de elasticidad para el concreto autocompactante al contener mayor volumen de pasta que el concreto de compactación convencional resulta ser entre 7% y 15% menor.

Las pruebas más relevantes que se le hacen a este concreto son Fluidez, mediante ensayos de escurrimiento o de escurrimiento en embudo V, según ASTM C 1611/C 1611M; Resistencia al bloqueo, mediante ensayos del escurrimiento con anillo J, o mediante ensayos en caja en L, según ASTM C 1621/C 1621M; Resistencia a la segregación según ASTM C 1610.



Figura 1. Ensayo de escurrimiento en embudo V. Fuente: (Sánchez Pérez, González García, Prieto Barrio, & García López de la Osa, 2019)



Figura 2. Ensayo en anillo J. Fuente: Estudio Sassani, disponible en: <https://estudiosassani.wordpress.com/2021/04/06/ensayo-de-anillo-j-hormigon-armado/>

Una de las ventajas más importantes de este concreto es la uniformidad estructural que puede lograrse sin que el proceso de colocación tenga un efecto negativo, como sucede con el concreto convencional, en el que a pesar de un alto revenimiento no se puede garantizar que fluya por el armado si no se asegura la consolidación por medios mecánicos. (Rodríguez, 2003)

Por lo que se utiliza principalmente en situaciones donde se tienen armados de estructuras muy complicadas, donde sea muy difícil que el concreto convencional fluya por ellas o que incluso después de utilizar medios mecánicos sea difícil asegurar que se haya conseguido una correcta consolidación. También se utiliza en zonas de difícil acceso, ya que el no tener la necesidad de vibrarlo es de suma importancia.



Figura 3. Colocación de concreto autocompactante. Fuente: Toxement disponible en: https://www.toxement.com.co/media/3373/concreto_autocompactante.pdf

El concreto autocompactante ha aumentado su uso a lo largo de los años debido a que soluciona grandes problemas que se pueden presentar en obras complejas, donde es muy difícil conseguir compactar el concreto a través de medios mecánicos tradicionales, por lo que en estos casos se utiliza este concreto como en el caso de la Figura 2, donde se utilizó para elaborar los apoyos del edificio que de manera tradicional sería muy complicado consolidarlos.



Figura 4. Ejemplo de una obra donde se utilizó el concreto autocompactante. Fuente: Arch Daily, disponible en: <https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/1045/hormigon-autocompactante-cementos-bio-bio>

2.2.1.2. Concreto de alta resistencia.

En su forma más simple, el concreto de alta resistencia es un tipo de concreto de alto desempeño, el cual se caracteriza por poseer una resistencia a la compresión igual o superior a 6000 psi o 420 kg/cm². Por la resistencia que tienen se les somete a fuerzas más altas, y por lo tanto un aumento en su calidad generalmente conduce a resultados económicos. El uso de concretos de alta resistencia permite la reducción de las dimensiones de la sección de los elementos estructurales, lográndose ahorros significativos en carga muerta siendo posible que grandes claros resulten técnica y económicamente posibles. (Ottazzi, 2004)

En México de acuerdo a las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto se entiende por concreto de alta resistencia

aquel que tiene una resistencia a la compresión f_c' igual o mayor que 40 MPa (400 kg/cm²). Y de acuerdo a estas normas en la ciudad de México al ser zona sísmica y por el tipo de suelo, la resistencia máxima permitida es de 700 kg/cm² (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

Con respecto a este concreto a nivel internacional podemos encontrar el ACI 363R-10 titulado “Report on High-Strength Concrete” (Reporte en Concreto de Alta Resistencia), en el cual podemos encontrar la definición de este de acuerdo al ACI, sus propiedades, proporciones, consideraciones a tomar en cuenta para el diseño estructural usando este concreto, entre otros puntos relevantes acerca de este.

De acuerdo con la NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association, algunos puntos a tomar en cuenta para el diseño de una mezcla de concreto de alta resistencia son: Los agregados deben ser resistentes y durables. No es necesario que sean duros o de alta resistencia, pero si se requiere que sean compatibles, en términos de rigidez y resistencia con la pasta de cemento. La mayoría de las mezclas contienen una o más adiciones minerales como cenizas volantes, cenizas de alto horno molidas, microsílíce, metacaolín o materiales puzolánicos de origen natural. Estas mezclas necesitan por lo general tener una baja relación agua/material cementante, dicha relación debe estar en el rango de 0.23 a 0.35. Estas relaciones A/C son tan bajas que solo se pueden obtener utilizando muy altas dosificaciones de aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes. Por último, el contenido total de materiales cementantes debe estar alrededor de 415 kg/m³, pero no más de 650 kg/m³. (NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association, 2017)

Los usos y maneras de aprovechar este concreto son bastantes siendo los principales los siguientes:

- Se utiliza en muros de rigidez, columnas y vigas de gran importancia en edificios de gran envergadura.
- Cuando se requiere colocar el concreto en servicio a una edad mucho menor de la habitual.
- En elementos estructurales que necesiten soportar altas demandas de carga.

- Cuando se tienen elementos estructurales de grandes dimensiones y se requiere reducirlos
- Para construir superestructuras de puentes de mucha luz y para mejorar la durabilidad de sus elementos
- Para construir edificios altos reduciendo la sección de las columnas, lo que incrementa el espacio disponible.
- Para satisfacer necesidades específicas de ciertas aplicaciones especiales como por ejemplo durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión.



Figura 5. Ejemplo de uso del Concreto de alta resistencia en un puente. Fuente: Psiconcreto, disponible en: <https://psiconcreto.com/concreto-de-alta-resistencia/>

El concreto de alta resistencia se utilizó por primera vez en 1968 en las columnas inferiores del edificio Lake Point Tower en Chicago, Estados Unidos. La resistencia que se alcanzó fue de 520 kg/cm². (Gómez Martínez, 2011)



Figura 6. Vista Exterior de la Lake Point Tower. Fuente: Loopnet, disponible en: <https://www.loopnet.com/Listing/505-N-Lake-Shore-Dr-Chicago-IL/25819833/>

2.2.1.3. Concreto ligero.

En México de acuerdo a las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto se entiende por concreto ligero aquel cuyo peso volumétrico en estado fresco es inferior a 19 kN/m^3 (1.9 t/m^3). Solo se permite el uso de este concreto en elementos secundarios. Su uso en elementos principales de estructuras requiere de la autorización especial del Corresponsable de Seguridad Estructural o del Director Responsable de Obra cuando no se requiera de Corresponsable. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

Existen tres formas básicas para producir concreto ligero: El uso de agregado poroso de bajo peso específico, llamado agregado ligero o de peso liviano; La introducción de grandes huecos en el concreto o en la masa de mortero, este tipo de concreto suele conocerse por los nombres de aireado, celular, espumoso o gaseoso; La preparación de concreto convencional, pero omitiendo el agregado fino en la mezcla, lo que ocasiona un gran número de espacios vacíos, este recibe el nombre de concreto sin finos. (Sánchez de Guzmán, 2001)



Figura 7. Porosidad del concreto ligero. Fuente: Civilgeeks (Raymundo Martínez), disponible en: <https://civilgeeks.com/2011/09/22/concreto-ligero/>

Internacionalmente siendo la ACI un gran referente en lo que respecta a concretos, para el caso del ligero se cuenta con el informe del comité ACI 213R-14 llamado “Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete” (Guía para Concreto Ligero Estructural) donde se define a los concretos estructurales con agregado de peso

ligero como concretos que tienen una resistencia a la compresión a los 28 días por encima de los 17 MPa y un peso unitario secado al aire a 28 días que no exceda 1850 kg/ m³. (ACI 213R-14)

De acuerdo con el informe ACI 213R-14, el uso de concreto con agregado de peso ligero en una estructura, generalmente resulta en un costo total más bajo para estructura. Mientras que el concreto de peso ligero costará más que el concreto de peso normal por metro cúbico, la estructura puede costar menos como resultado del peso reducido y de los menores costos de la cimentación. (ACI 213R-14)

El uso fundamental del concreto estructural de peso liviano busca reducir la carga muerta de una estructura de concreto, lo que permite a su vez que el diseñador estructural reduzca el tamaño de columnas, zapatas y otros elementos de soporte de cargas (cimentación). (NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association, 2020)



Figura 8. Ejemplo de edificación donde se utilizó concreto ligero. Fuente: Flickr – *avantha group*, disponible en: <https://www.flickr.com/photos/avanthagroup/8677919153/>

Otros beneficios de este concreto es que proporciona una mayor resistencia al fuego, tiene mejores propiedades de aislamiento, además la porosidad del agregado liviano proporciona una fuente de agua para el curado interno del concreto, lo que permite un aumento continuo de la resistencia del concreto y de su

durabilidad, aunque sin excluir la necesidad de curado externo. Este concreto también se puede utilizar como cubierta de puentes, pilares y vigas, losas y elementos de muros en edificios de acero y estructuras de acero.

2.2.1.4. Concreto lanzado.

De acuerdo a la NTC para diseño y construcción de estructuras de concreto el concreto lanzado se define como aquel que se coloca por medios neumáticos a alta velocidad, en capas relativamente delgadas, sobre la superficie a ser recubierta; puede ser de concreto simple o reforzado, con fibra o mallas de barras de refuerzos, según las necesidades del proyecto. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

En estas normas también se distinguen dos procesos de lanzado, uno es el proceso de mezcla seca y el otro es el proceso de mezcla húmeda, ambos consisten en cinco pasos.

El proceso de mezcla seca consiste en:

1. Se mezclan completamente todos los ingredientes excepto el agua.
2. Se coloca la mezcla cementante-agregado dentro de un alimentador mecánico especial o cañón llamado equipo de impulsión.
3. Se introduce la mezcla en la manguera de impulsión mediante un dispositivo de control: rueda alimentadora, rotor, o recipiente alimentador.
4. El material es impulsado con aire a presión a través de la manguera hasta la boquilla. La boquilla está provista internamente de un anillo a través del cual se introduce el agua a presión, la cual se mezcla completamente con los otros ingredientes.
5. El material es lanzado a alta velocidad a través de la boquilla hasta la superficie a ser recubierta.

El proceso de mezcla húmeda consiste en:

1. Todos los ingredientes incluyendo el agua de mezclado, se mezclan completamente
2. Se introduce el concreto dentro de la cámara del equipo de impulsión.

3. La mezcla se regula dentro de la manguera de impulsión y se mueve mediante desplazamientos positivos o se conduce mediante aire comprimido hasta la boquilla.
4. Se inyecta el aire comprimido en la boquilla para incrementar la velocidad y mejorar el procedimiento de lanzado.
5. El concreto se lanza a alta velocidad a través de la boquilla sobre la superficie a ser recubierta.

Los tipos de mezclas de concreto que se aplican por medio de lanzado, incluyen al concreto simple, con micro sílice, reforzado con fibra, de alta resistencia y de alto desempeño. Los diferentes tipos tienen propiedades diferentes ya endurecidos. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

El comité de la ACI 506 titulado "Guide to Shotcrete" (Guía para concreto lanzado) es donde se habla de este concreto, de las propiedades de los materiales a usar y de sus diversas propiedades. Aquí mismo se define el concreto lanzado como un mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie. Dicha superficie puede ser concreto, piedra, terreno natural, mampostería, acero, madera, poliestireno, etc. A diferencia del concreto convencional, que se coloca y luego se compacta (vibrado) en una segunda operación, el concreto lanzado se coloca y se compacta al mismo tiempo, debido a la fuerza con que se proyecta desde la boquilla. (ACI 506R-16)

Si la mezcla que se va a lanzar cuenta sólo con agregados finos, se le llama mortero lanzado, y si los agregados son gruesos se le denomina concreto lanzado. Por otra parte, el concreto con agregado fino es conocido como gunite, y cuando incluye agregado grueso, como shotcrete, aunque también se llama gunite al concreto lanzado por la vía seca, y shotcrete al concreto lanzado por la vía húmeda. (Reyes, 2002)

El intervalo usual de relaciones agua-cemento es del orden de 0,35 a 0,50, generando muy baja exudación. Los agregados deben cumplir con la norma de granulometría del comité A.C.I 506, y el tamaño máximo permisible es de hasta 25mm (1") (Sánchez de Guzmán, 2001)

De acuerdo con el ACI, Cemex y Lanzacreto, estos son actualmente los usos y aplicaciones más comunes del concreto lanzado: (Reyes, 2002)

- Estabilización de taludes y muros de contención
- Cisternas y tanques de agua
- Albercas y lagos artificiales
- Rocas artificiales
- Canales y drenajes
- Rehabilitación y refuerzo estructural
- Recubrimiento sobre panel de poliestireno
- Túneles y minas
- Muelles, diques y represas
- Paraboloides, domos geodésicos y cascarones
- Concreto refractario para chimeneas, hornos y torres.



Figura 9. Aplicación del concreto lanzado. *Fuente: Revista CyT, disponible en: <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/23-especial/134-concreto-lanzado-para-tuneles-y-taludes>*

Las ventajas que ofrece el concreto lanzado son que evita la colocación de cimbras y tiras de corte; permite el diseño de formas libres; presenta baja permeabilidad, alta resistencia, adhesividad y durabilidad; disminuye las grietas por temperatura; puede

dársele cualquier acabado y coloración; su técnica permite el acceso a sitios difíciles y, además, su empleo es ideal para estructuras de pared delgada. (Reyes, 2002)



Figura 10. Ejemplo de obra donde se empleó el concreto lanzado. *Fuente:* IMCYC (CGS), disponible en: <https://www.imcyc.com/ct2009/jul09/mejor.htm>

2.2.1.5. Concreto reciclado.

En la NTC para diseño y construcción de estructuras de concreto se entiende por concretos reciclados a los concretos fabricados con agregado grueso reciclado proveniente de la trituración de residuos de concreto. Para su uso como concreto estructural el contenido de agregado grueso se limita a 20% en peso, del contenido total de agregado grueso. No se permite el empleo de agregado fino reciclado como sustituto parcial o total del agregado fino, ni de agregado grueso procedente de estructuras con patologías que puedan afectar la calidad del concreto. El agregado grueso reciclado puede emplearse tanto para concreto simple como para concreto reforzado. La resistencia especificada f_c' , será inferior a 40 MPa (400 kg/cm²); no se permite su empleo en estructuras de concreto presforzado, ni en estructuras con marcos dúctiles. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

De acuerdo a estas normas el tamaño mínimo para el agregado grueso reciclado es de 4.75 mm (malla #4). El contenido de partículas que pasan por la malla #4 no debe ser superior a 5%. En los concretos con contenido de agregado grueso reciclado inferior a 20%, la absorción de este agregado debe ser inferior a 7%, la absorción del agregado grueso natural deberá tener una absorción inferior a 4.5%.

Se deberá controlar en el agregado reciclado el contenido de impurezas limitando los valores máximos a lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 1. Impurezas máximas en el agregado reciclado. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

Impurezas	Máximo contenido de impurezas, % del peso total de la muestra.
Material cerámico	5
Partículas ligeras	1
Asfalto	1
Otros materiales (vidrio, plásticos, metales, madera, papel, etc.)	1

En el reporte ACI 555R-01, el cual se titula como “Removal and Reuse of Hardened Concrete” (Retiro y Reutilización del Concreto Endurecido), se explican temas de mucha importancia para el concreto reciclado, como lo son las técnicas para remover el concreto, consideraciones para reutilizarlo, la producción del agregado grueso proveniente del concreto reciclado, así como la calidad, características y proporciones que deberá tener el concreto reciclado producido.

El reciclado del concreto presenta grandes ventajas, entre las que se encuentran la reducción de la utilización de nuevos agregados y de los costos ambientales de explotación y transporte. A la vez, con el proceso de reciclado se reduce el desecho innecesario de vertedores de basura de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados. No obstante, su impacto sobre la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero es algo limitado; ya que la mayoría de las emisiones ocurren durante la fabricación del cemento, y no es posible reciclar el cemento por sí solo. (Valdés, 2017)

En cuanto a las propiedades de este concreto en comparación con el producido con agregados convencionales, se tiene que el concreto con agregado de concreto

reciclado generalmente tiene un desempeño óptimo; la carbonatación, permeabilidad y resistencia a congelación-deshielo se han mostrado similares o inclusive mejores que el concreto con agregado convencional; la contracción por secado y la fluencia del concreto con el agregado reciclado es hasta 100% mayor que el concreto con agregado convencional. (Valdés, 2017)



Figura 11. Aplicación del Concreto Reciclado. Fuente: Andrés Escarraga, disponible en: <https://es.slideshare.net/AndresEscarraga1/concreto-con-agregados-reciclados>

2.2.1.6. Concreto reforzado con fibras.

En México de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto los concretos reforzados con fibras se definen como aquellos que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y distribuidas aleatoriamente en su masa. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

Internacionalmente como referente al concreto reforzado con fibras se tiene el comité de la ACI 544, el cual cuenta con el reporte ACI 544.4R-18, titulado “Guide to Design With Fiber-Reinforced Concrete” (Guía para Diseñar con Concreto Reforzado con Fibras), en este documento se presentan temas como conceptos relevantes, las fibras con las que se puede producir este concreto y sus características, hasta llegar a guías de como diseñar este concreto, como diseñarlo para aplicaciones específicas, prácticas de construcción con este, entre otras cosas.

La aplicación de estos concretos puede ser con finalidad estructural o no estructural. El empleo de fibras en el concreto tiene finalidad estructural cuando se utiliza su

contribución en los cálculos relativos a alguno de los estados límite de resistencia o de servicio y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total del refuerzo convencional en algunas aplicaciones. Se considera que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyen en el concreto con otros objetivos, como la mejora de la resistencia al fuego o el control del agrietamiento. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

Las fibras son elementos de corta longitud y sección pequeña que se incorporan a la masa de concreto con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas. Se clasifican como fibras estructurales aquellas que proporcionan una tenacidad importante al concreto, en cuyo caso la contribución de las fibras se considera en el cálculo de la respuesta de la sección de concreto; como fibras no estructurales aquellas que, sin considerarlas en el cálculo de la respuesta, la tenacidad que desarrollan permite tener una mejora en las propiedades del concreto como el control del agrietamiento por contracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otras. De acuerdo con su naturaleza las fibras se clasifican en fibras de acero, fibras poliméricas y otras fibras inorgánicas. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017)

La efectividad de las fibras se valora por medio de la energía de rotura (tenacidad) en Julios (J) en especímenes de concreto de conformidad con la norma ASTM C 1018.

Las fibras de acero deben cumplir con los requisitos de la especificación ASTM A-820. La forma de la fibra tiene un impacto importante en la adherencia de la fibra con el concreto, pueden ser rectas, onduladas, corrugadas, con extremos de distintas formas. Su sección transversal puede ser circular, rectangular, semicircular, irregular o de sección transversal variable. La longitud de la fibra debe ser mayor o igual a 2 veces el tamaño máximo del agregado.

Las fibras plásticas de material polimérico (polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, alcohol de polivinilo, acrílico, nylon, poliéster). Estas fibras deben cumplir con la norma ASTM D 7508/D 7508M. Su longitud debe estar comprendida entre 20 mm y 60 mm.

Las fibras inorgánicas, entre las que se encuentran las de vidrio, pueden usarse para fines estructurales, para reducir el agrietamiento, la contracción por secado y el flujo plástico, así como para mejorar el desempeño del concreto ante fatiga e impacto.



Figura 12. Tipos de fibras empleadas en el concreto.
Fuente: Más que Ingeniería, disponible en: <https://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/>

Hoy es casi habitual la construcción utilizando concretos reforzados con fibras (Fiber Reinforced Concrete, FRC por sus siglas en inglés) en: pisos industriales, concreto proyectado para el sostenimiento de túneles y taludes, estructuras a base de elementos de concreto prefabricado, entre otras muchas más aplicaciones. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte I), 2015)

Uno de los mayores beneficios de las fibras en el concreto fresco se produce en el revenimiento de la mezcla. Al agregar fibras al concreto fresco, este tiende a disminuir. En el concreto endurecido, las fibras también propician determinados beneficios relacionados con la disminución del efecto de la contracción por secado, aumento de la resistencia a la torsión, tensión y flexión; así como resistencia al impacto, abrasión y desgranamiento. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte II), 2015)

De acuerdo al tamaño de las fibras, estas pueden clasificarse en dos grandes grupos: microfibras y microfibras. En la tabla 2 se evidencia una diferenciación general entre uno y otro grupo. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte II), 2015)

Tabla 2. Características de Macrofibras y Microfibras. (Vidaud, Frómeta, & Vidaud, Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte II), 2015)

Tipo	Material	Dosificación	Diámetro	Función
Macrofibra	Fibras metálicas, sintéticas, o naturales (coco, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc.)	Entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto.	Entre 0.05 mm y 2.00 mm. Relación de aspecto (Largo/Diámetro) de entre 20 y 100	-Evitar la fisuración del concreto en estado endurecido. -Reducir la abertura de la fisura. -Garantizar el adecuado desempeño del elemento fisurado
Microfibra	Las más frecuentes son las fibras de polipropileno; aunque también las hay de aramida, acrílicas, nylon, carbón.	Entre 0.03% a 0.15% del volumen del concreto.	Entre 0.023 mm y 0.050 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas.	-Evitar la fisuración del concreto en estado fresco (ej. contracción plástica).



Figura 13. Vista de un concreto reforzado con fibras en estado endurecido. *Fuente: Más que Ingeniería, Disponible en: <https://masqueingenieria.com/blog/hormigones-especiales-hormigon-reforzado-con-fibras/>*

2.2.2. Concretos especiales no presentes en las normas mexicanas.

2.2.2.1. Concreto masivo.

El ACI comité 116 define el concreto masivo como cualquier elemento de grandes dimensiones que genere que se tomen medidas preventivas para contrarrestar la generación de calor interior debido a la hidratación de cemento causando cambios volumétricos y con esto, fisuras o grietas. (ACI 116R-00)

Así mismo el ACI cuenta con el comité ACI 207 el cual está dedicado al concreto masivo, entre sus reportes podemos encontrar el ACI 207.1R-05, titulado como “Guide to Mass Concrete” (Guía para el Concreto Masivo), en el cual se mencionan puntos importantes a tomar en cuenta al tratar con este tipo de concreto, como lo son sus materiales y proporción, las propiedades que debe tener y aspectos a tomar en cuenta para la construcción con este.

La característica que distingue al concreto masivo del resto de concretos convencionales es su comportamiento térmico. (ACI 207.1R-05)

El concreto masivo incluye no solamente el concreto con bajos contenidos de cemento, usado en presas y otras estructuras masivas, sino también concretos con contenidos moderados y elevados de cemento en miembros estructurales de

puentes y edificios. El colado de concreto masivo requiere consideraciones especiales para reducir el calor de hidratación y el aumento de temperaturas resultante, a fin de evitarse daños del concreto por las altas temperaturas y por las diferencias de temperatura que pueden resultar en fisuración térmica. (Gajda & VanGeem, 2002)

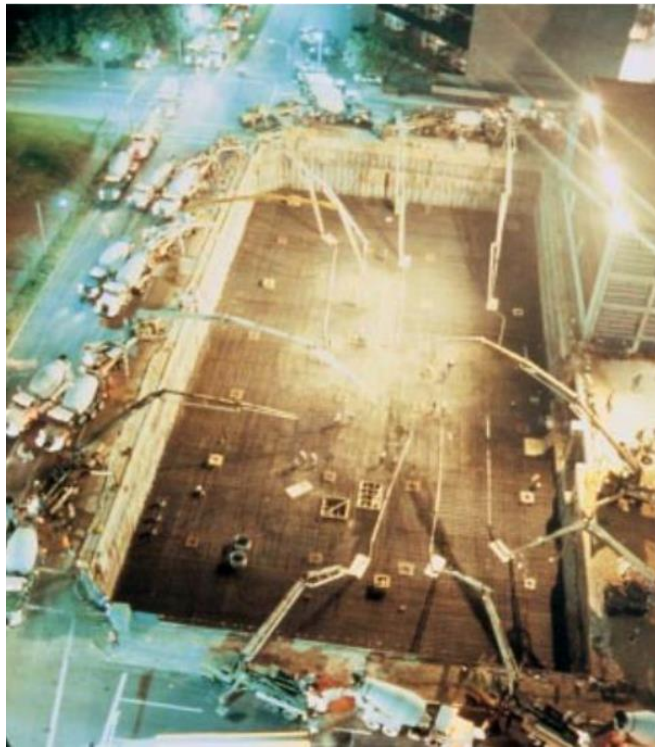


Figura 14. Aplicación del concreto masivo en una cimentación. *Fuente:* (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

No existe un tamaño de elemento específico de una estructura que al ser superado pueda clasificarse como concreto masivo. Muchos elementos estructurales de grandes dimensiones pueden no ser suficientemente masivos para que se deba considerar el calor generado. Esto es crítico principalmente cuando las dimensiones mínimas de la sección transversal se acercan o superan 1 metro o cuando el contenido de cemento supera 355 kg/m^3 . El aumento de temperatura en el concreto masivo se relaciona con su temperatura inicial, la temperatura ambiente, el tamaño del elemento de concreto (relación volumen-área superficial y dimensión mínima) y

el tipo y la cantidad de los materiales cementantes. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)



Figura 15. Ejemplo de concreto masivo utilizado en una obra.
Fuente: (Loor Torres, 2015)

2.2.2.2. Concreto compactado con rodillo (CCR).

El concreto compactado con rodillos (CCR) es generalmente un concreto pobre, de revenimiento cero y casi seco, que se compacta en la obra a través de rodillos vibratorios o equipos de compactación de placa. El CCR es una mezcla de agregados, cemento y agua y también se puede emplear materiales cementantes suplementarios, tales como ceniza volante. Los contenidos de cemento varían de 60 a 360 kg/m³. El mezclado se realiza con mezcladoras convencionales, mezcladoras continuas o, en algunos casos, camiones mezcladores de tambor basculante. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Este concreto cuenta con la guía del ACI 327R-14, titulado “Guide to Roller Compacted Concrete Pavements” (Guía para Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo), en donde podemos encontrar descripción de los usos comunes que se le pueden dar a este concreto, las propiedades que este debe tener, como debe ser

la selección de los materiales, la proporción de las mezclas, hasta llegar a como diseñar estructuralmente con este concreto.

La principal diferencia entre el concreto compactado con rodillo y el convencional es que el CCR tiene un porcentaje mayor de agregados finos que permite un mejor empaque y compactación. (ACI 327R-14, 2014)



Figura 16. Aplicación de Concreto compactado con rodillo vibratorio.
Fuente: 360 en Concreto (Elizabeth Londoño), disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-compactado-con-rodillo-1/>

Las aplicaciones para el CCR se dividen en dos categorías: estructuras de control de agua (presas) y pavimentos. Aunque el mismo término se usa para describir ambos los tipos de uso de concreto, el diseño y los procesos de construcción son diferentes. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

El Concreto compactado con rodillo se puede usar en toda la estructura de la presa o como una capa de protección sobre la sección superior y sobre la cara de bajamar. Entre sus características se tiene que el tamaño máximo nominal del agregado puede llegar hasta 150 mm, la resistencia a compresión de este concreto varía de 70 a 320 kg/cm² o 7 a 30 MPa. El contenido de cemento utilizado, normalmente es menor que el usado en una mezcla convencional pero similar al del concreto masivo.



Figura 17. Aplicación del Concreto Compactado con Rodillo en la presa Zapotillo, en Jalisco, México. Fuente: 360 en Concreto (Elizabeth Londoño), disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-compactado-con-rodillo-1/>

El uso del CCR en pavimentos varía desde pavimentos con espesor de un metro para la industria de la minería hasta calles de ciudades, superficies pavimentadas de instalaciones de manejo de abono, aserraderos, pistas de rodamiento de camiones y pisos de almacenes. El contenido de cemento es similar al concreto convencional y varía de 300 a 360 kg/m³ y la resistencia a compresión es cerca de 280 a 420 kg/cm² o 30 a 40 MPa. El tamaño máximo nominal del agregado se limita a 19 mm para proveer una superficie suave y densa. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Los pavimentos de concreto compactado con rodillo son resistentes, densos y durables, esto combinado con acelerar la velocidad de construcción y disminución de costos, son las principales ventajas del uso de este concreto.

2.2.2.3. Concreto permeable (poroso).

El concreto permeable es el llamado concreto sin agregados finos. El vacío que existe en este tipo de concretos permite que el agua y el aire pasen a través de su estructura. Puede ser utilizado en aplicaciones medioambientales tales como concreto permeable para pavimento, de purificación de agua de concreto, que absorbe el ruido del concreto, concreto permeable al aire y otras aplicaciones de ingeniería civil y arquitectura. (Park & Tia, 2004)

El concreto permeable está formado por Cemento Pórtland Ordinario (OPC), agregado grueso, poco agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros conectados que van de 2 a 8 mm y que permiten que el agua percole fácilmente. El porcentaje de vacíos puede variar de 18% a 35%, con una resistencia a la compresión de 2.8 a 28 MPa (28 a 280 kg/cm²). La permeabilidad puede variar con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caen en el rango de 81 a 730 l/min/m². Esto según lo señalado en el comité ACI 522R-10 (ACI 522R-10)

En este comité del ACI 522R-10, titulado como “Report on Pervious Concrete” (Reporte en Concreto Permeable), se pueden encontrar las aplicaciones que se le pueden dar a este concreto, los materiales que se emplean, las propiedades que debe tener este, la proporción de la mezcla, el diseño y construcción de este material de construcción, y diversos temas relevantes para el uso de este concreto como lo es el control de calidad, el desempeño que este debe tener cuando se utiliza y finalmente las limitaciones que se presentan para su aplicación.

El concreto poroso (sin finos) contiene agregados gruesos con granulometría estrecha, con poco o ningún fino, e insuficiente pasta de cemento para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso. Este concreto de baja relación agua-cemento y bajo revenimiento, se mantiene unido por la pasta de cemento en los puntos de contacto del agregado grueso. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)



Figura 18. Aplicación del concreto permeable. *Fuente: Revista CyT (Carlos Aire), disponible en: <https://www.imcvc.com/revistacvt/jun11/arttecnologia.htm>*

El concreto poroso se usa en estructuras hidráulicas como medio de drenaje y en áreas de estacionamiento, pavimentos y pistas de despegue para reducir el escurrimiento del agua pluvial. También recarga el abastecimiento local del agua freática, pues permite que el agua penetra a través del concreto hasta el terreno bajo. El concreto poroso también se ha utilizado en canchas de tenis e invernaderos. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

El concreto permeable reduce la escorrentía superficial en áreas pavimentadas, reduciendo así la necesidad de lagunas separadas de retención de agua de lluvia y permite el uso de un alcantarillado de menor capacidad. Esto permite a los propietarios desarrollar áreas de mayor tamaño a un costo menor. El concreto permeable también filtra de manera natural el agua de lluvia y reduce las cargas de polución que pueden entrar en los arroyos, lagunas y ríos. El concreto permeable funciona como una laguna de retención de agua de lluvia y permite que el agua de lluvia se infiltre en la tierra sobre un área mayor, facilitando la recarga de los suministros de agua subterránea localmente. (NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association, 2020)

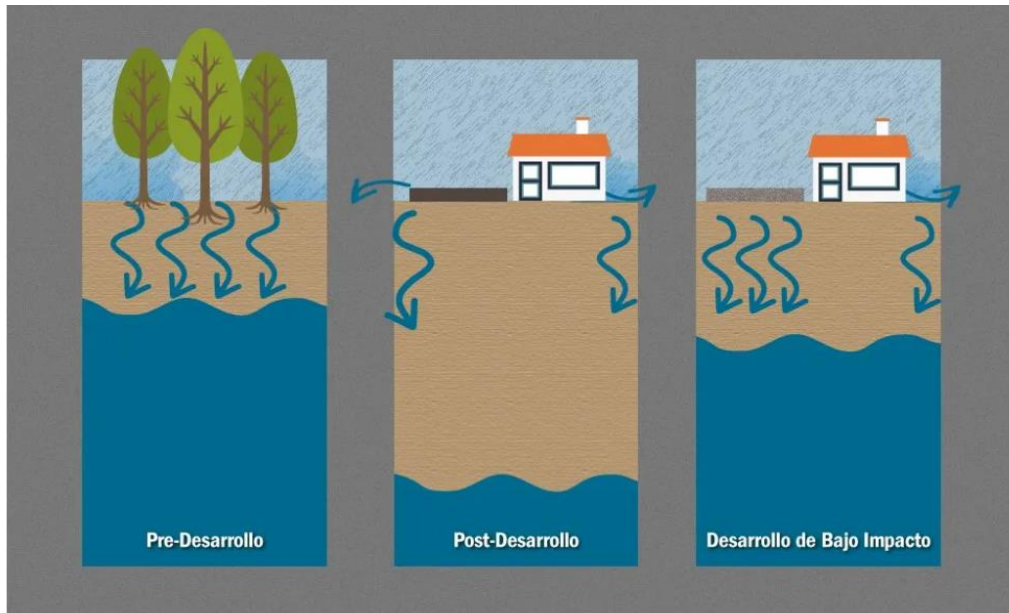


Figura 19. Ejemplo del efecto del desarrollo de bajo impacto utilizando concreto permeable. Fuente: 360 en Concreto (Samuel Arango), disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto/>

El concreto permeable posee muchas ventajas, como lo son el control de contaminación de las aguas pluviales, ya que al solo permitir el paso del agua evita que agentes contaminantes se filtren a aguas subterráneas o al sistema de drenaje, sus numerosas ventajas en relación al control de escurrimiento de aguas pluviales, el no generar islas de calor, entre muchas otras. Pero también se deben tomar en cuenta las desventajas que presenta el uso de este tipo de concreto como lo son su necesidad de un mantenimiento periódico debido a que con el paso del tiempo puede perder permeabilidad a causa de que lo espacios vacíos se vean obstruidos por material fino, por lo que sin mantenimiento se puede obstaculizar la estructura lo que generaría que esta deje de funcionar correctamente. Otra desventaja importante es que tiene una menor resistencia al desgaste que el concreto convencional.

2.2.2.4. Concreto de alta densidad (pesado).

El concreto de densidad elevada (concreto de gran peso) tiene una densidad de hasta cerca de 6400 kg/m³. El concreto de gran peso se usa principalmente para blindaje de radiación, pero también se usa para contrapesos y otras aplicaciones

donde la alta densidad sea importante. Como un material de blindaje, el concreto de gran peso protege contra los efectos perjudiciales de los rayos X, rayos Gama y radiación de neutrones. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

El concreto se comienza a considerar de alta densidad a partir de que su densidad supere los 2600 kg/m³.

El tipo y la intensidad de la radiación son los que determinan los requisitos para la masa volumétrica y el contenido de agua del concreto utilizado para blindaje. La eficiencia del concreto de alta densidad contra los rayos gama es aproximadamente proporcional a la masa volumétrica de este, porque a mayor masa volumétrica se tendrá un blindaje más eficiente. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)



Figura 20. Aplicación del concreto de alta densidad como blindaje de radiación en una planta nuclear. Fuente: CivilGeeks (Julio Montenegro Gambini), disponible en: <https://civilgeeks.com/2011/09/25/el-concreto-pesado-y-sus-aplicaciones-reactor-del-centro-nuclear-de-huarangal-peru/>

Como norma para este concreto se tiene el reporte del ACI 304.3R-20, el cual lleva el título de “Heavyweight Concrete: Measuring, Mixing, Transporting, and Placing” (Concreto pesado: medición, mezclado, transportación y colocación), en el cual podemos encontrar una descripción de aspectos importantes de este concreto como lo son los materiales empleados para elaborarlo, las características y proporciones

de este, la manera de colocarlo y el control de calidad que se debe llevar cuando se trabaja con este.

La diferencia de este concreto con respecto a un concreto tradicional es que en este se reemplaza parte o todo el agregado normal por un agregado de densidad elevada, con el que se consigue tener un concreto con una densidad de hasta 6400 kg/m³.

Los agregados de densidad elevada tales como barita, ferrofósforo, goetita, hematita, ilmenita, limonita, magnetita, punzonado de acero sin grana y perdigones de acero se usan para producir concreto de densidad elevada. La tabla 3 presenta las masas volumétricas, masas específicas relativas típicas y el porcentaje de agua fija para algunos de estos materiales. Estos valores son una compilación de datos de una gran variedad de pruebas o proyectos reportados en la literatura. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Tabla 3. Propiedades Físicas de Agregados y Concretos Típicos de Alta Densidad. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Tipo de agregado	Agua fija*, porcentaje por peso	Masa específica relativa del agregado	Masa volumétrica del agregado. Kg/m³	Masa volumétrica del concreto, kg/m³
Goetita	10-11	3.4 - 3.7	2080 - 2240	2880 - 3200
Limonita**	8-9	3.4 - 4.0	2080 - 2400	2880 - 3360
Barita	0	4.0 - 4.6	2320 - 2560	3360 - 3680
Ilmenita	***	4.3 - 4.8	2560 - 2700	3520 - 3850
Hematita	***	4.9 - 5.3	2880 - 3200	3850 - 4170
Magnetita	***	4.2 - 5.2	2400 - 3040	3360 - 4170
Ferrofósforo	0	5.8 - 6.8	3200 - 4160	4080 - 5290
Perdigones y punzonados de acero	0	6.2 - 7.8	3860 - 4650	4650 - 6090

* Agua retenida o químicamente adherida a los agregados.

** No hay datos de pruebas disponibles.

*** Los agregados se pueden combinar con limonita para producir contenidos fijos de agua que varíen de cerca de 0.5% a 5%

Con respecto a otros materiales empleados en este concreto se tienen adiciones de boro, como colemanita, fritas de boro y borocalcita, que se usan a veces para mejorar las propiedades del concreto de blindaje contra los neutrones. Sin embargo, pueden afectar adversamente el fraguado y la resistencia temprana, por lo tanto, se deben realizar mezclas de prueba con la adición, bajo las condiciones de obra, para determinar su conveniencia. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Los concretos pesados o de alta densidad son un escudo significativo de interposición en zonas de radiografía industrial, instalaciones de terapia especial, reactores nucleares y aceleradores de partículas, para lograr desviar y atenuar las emisiones radioactivas. (Ochoa Martínez, 2014)

El uso de concreto pesado o de alta densidad, es altamente recomendable para estructuras hospitalarias radioactivas, donde es forzosa la disminución del espesor de la pantalla de protección. Por su alta resistencia mecánica es muy eficaz en la protección biológica dentro de las zonas. (Ochoa Martínez, 2014)



Figura 21. Aplicación del concreto pesado en una estructura hospitalaria expuesta a radiación. Fuente: *Monkey Business Images*, disponible en: https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/concreto-pesado-e-ideal-para-aplicacao-em-anteparos-radioativos/?doing_wp_cron=1672804369.1387948989868164062500

2.2.2.5. Concreto de contracción compensada (Expansivo).

El concreto de contracción compensada (concreto de retracción compensada, concreto compensador de contracción) es un concreto que contiene cemento expansivo o un aditivo expansivo, los cuales producen expansión durante el endurecimiento que compensa la contracción que ocurre durante el secado (contracción por secado) (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

Este concreto se usa principalmente en losas de concreto, pavimentos, estructuras y reparaciones, con la finalidad de reducir o minimizar el agrietamiento que se provoca por la contracción por secado. El uso de este permite colocar pisos industriales en grandes áreas, de hasta 1600 metros cuadrados, sin cortes. La expansión en este concreto se debe determinar a través de la ASTM C 878. Y en general información acerca del uso de este concreto se puede encontrar en el ACI 223R-10 titulado como “Guide for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete” (Guía para el Uso del Concreto de Contracción Compensada).



Figura 22. Aplicación del Concreto de Contracción Compensada en un piso industrial. *Fuente: Revista CyT (Eduardo de J. Vidaud Quintana), disponible en: <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/10-posibilidades-del-concreto/255-breves-apuntes-acerca-de-la-construccion-de-pisos-industriales>*

De acuerdo con el Comité ACI 223, el concreto de retracción compensada es un concreto expansivo que, cuando esta adecuadamente restringido por el refuerzo o por otros medios, se expandirá en una cantidad igual, o ligeramente mayor que la retracción por secado esperada. Debido a la restricción, serán inducidos esfuerzos de compresión en el concreto durante la expansión. Idealmente, una compresión residual permanecerá en el concreto, eliminando el riesgo de agrietamiento por retracción. (ACI 223R-10)

Una representación gráfica del concepto es el de la figura 23, la cual compara el comportamiento del concreto portland tradicional con un concreto de cemento expansivo tipo K (Concreto de Contracción Compensada), durante el curado húmedo temprano y en los períodos subsecuentes de secado con aire. Este es el concepto bajo el cual trabaja el uso de concreto de retracción compensada, para reducir o para eliminar el agrietamiento de retracción por secado en un elemento de concreto reforzado. En cuanto el cemento Tipo K se hidrata, se forman grandes cantidades de etringita. Cuando el concreto se fragua y desarrolla resistencia se adherirá al refuerzo y al mismo tiempo comenzará a expandirse si se encuentran presentes suficientes cantidades de agua de curado. (Mehta & Monteiro, 1998)

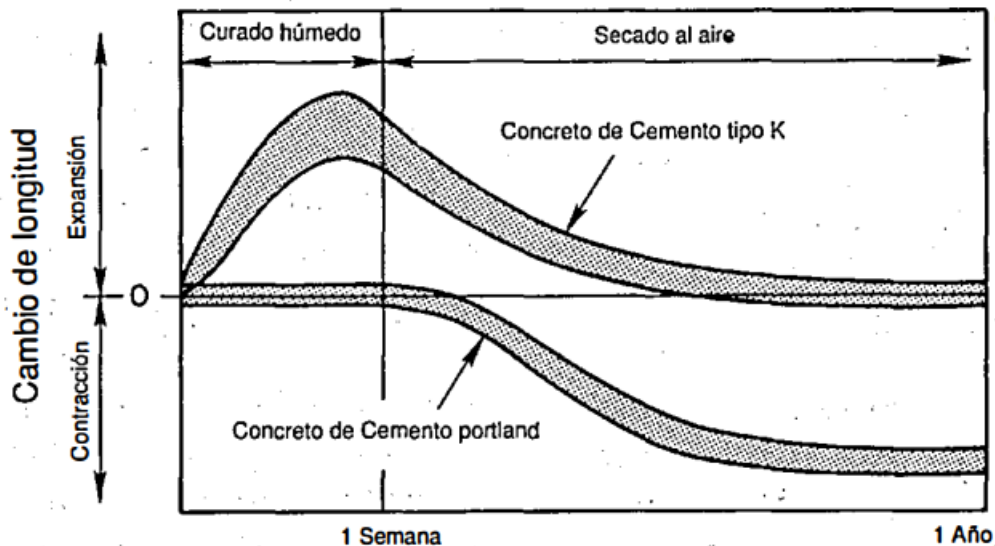


Figura 23. Comparación de las características del cambio de longitud entre el concreto de cemento portland y el concreto de cemento tipo K (Concreto expansivo). *Fuente:* (Mehta & Monteiro, 1998)

2.2.2.6. Concreto Antibacteriano.

Este concreto tiene la capacidad para reducir y controlar el crecimiento microbiano, lo que significa que demuestra una capacidad antimicrobiana, lo que como consecuencia permite tener mejores características sanitarias en el elemento elaborado con este.

El concreto antibacteriano contiene agentes activos que actúan penetrando a través de la pared de la célula de los microbios, lo que destruye su microorganismo. En los aspectos mecánicos, químicos y físicos funciona igual que el concreto convencional. Un aspecto importante de este es que debe ser colocado generando una superficie pulida con el fin de evitar la posibilidad de residencia de bacterias.

La problemática que atiende este concreto es la de la penetración de microorganismos en el concreto, lo cual se da frecuentemente en estructuras expuestas a ambientes agresivos, lo cual resulta en deterioro y corrosión.

Una de las formas de evitar la penetración de bacterias es mediante una baja permeabilidad. Sin embargo, estos concretos requieren propiedades más durables que puedan evitar la penetración de agentes dañinos, como lo son: los sulfatos, cloruros y bacterias. Por ella, la adición de un aditivo especial (antimicrobial) que pueda inhibir las bacterias tanto en la superficie como en la matriz del concreto, ha sido últimamente estudiada. Este aditivo, se integra permanentemente a la estructura de concreto eliminando y destruyendo a los microorganismos que entran en contacto superficial. Este mecanismo electro-físico protege el concreto contra diversos microorganismos incluyendo las bacterias gram positivas y negativas, algas, hongos, etc. (Umeres Acurio & Chávez Perea, 2019)

El principal uso de este concreto es en instituciones hospitalarias y del sector salud, pero su aplicación se extiende a plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento, cárceles, escuelas, zonas de almacenamiento de comida, incluso llegando a utilizarse en instalaciones de manejo, crianza y sacrificio de animales.



Figura 24. Aplicación del concreto antibacteriano en una sala del sector salud con alto riesgo de presencia de bacterias. *Fuente: Revista CyT, disponible en: <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/noticias/529-cientifico-mexicano-crea-polimero-antibacterial-para-construccion>*

2.2.2.7. Concreto translúcido.

El concreto translúcido es un concreto polimérico, que incluye cemento, agregados y aditivos. Permite el paso de la luz y desarrolla características mecánicas superiores a las del concreto tradicional. Este producto posibilita levantar paredes casi transparentes, más resistentes y menos pesadas que las construidas con concreto convencional. En general, todos los tipos de concreto translúcido permiten hasta un 70% el paso de luz, haciéndolo ideal como solución ambientalmente sostenible ya que genera ahorro de luz eléctrica y disminuye el uso de materiales de acabado como yeso y pintura, logrando una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero. (Redacción 360 en concreto, 2015)

En la actualidad existen 3 tipos principales de concretos translucidos, que cambian en los materiales que se emplean para su elaboración.

El primero es el que fue patentado en Alemania por el arquitecto húngaro Áron Losonczy el cual está elaborado con una mezcla de cemento con miles de fibras ópticas de diámetros que van desde 2 μm hasta 2 mm, las cuales están distribuidas en capas o celdas, lo que permite el paso de luz a través de las estructuras. Este

concreto se conoce como Light Translucent Concrete y como características tiene una densidad de 2100 kg/m^3 , en su elaboración se incorporan resinas y fibras en lugar de grava y arena, tiene impermeabilidad, el 90% de su resistencia máxima se obtiene a los 7 días, mayor resistencia al fuego que el concreto tradicional.

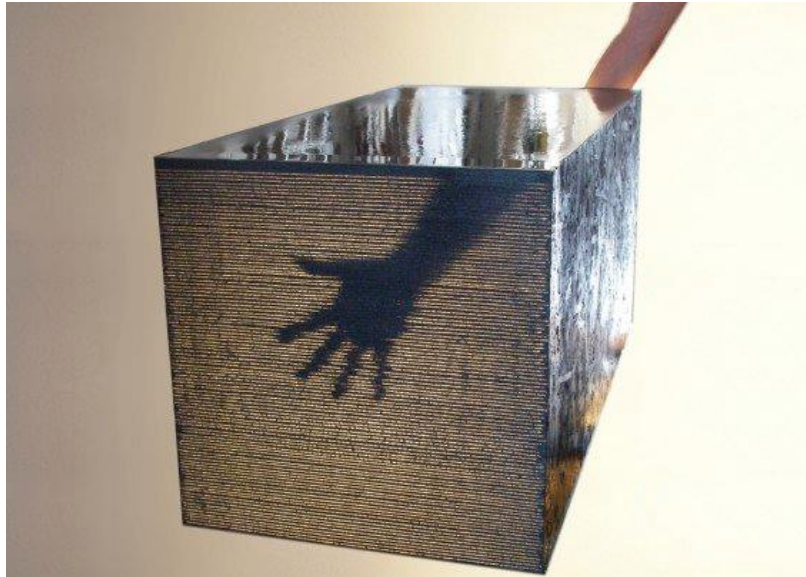


Figura 25. Bloque de concreto translucido. Fuente: *Litracon Kft.*
Disponble en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-traslucido/>

El segundo tipo es producido por otra compañía alemana, la cual se distingue del concreto fabricado por el arquitecto Áron Losonczí en que en este se disminuyó el número de fibras, pero se aumentó el espesor de estas. En este se emplean fibras de plástico, entre sus características se encuentran ser un aislante térmico, es resistente a las heladas, altamente resistente a los rayos ultravioleta, y una densidad entre 2100 y 2300 kg/m^3 .

El tercer tipo de concreto translúcido fue desarrollado por los ingenieros civiles mexicanos, Joel Sosa Gutiérrez y Sergio Omar Galván. En su elaboración se emplea cemento blanco, agregados finos, gruesos, fibras, agua y un aditivo de fórmula secreta, el cual es el responsable de darle la propiedad de transparencia a este concreto.

Este concreto se utiliza para diversos fines, siendo el diseño arquitectónico el principal, pero también se utiliza con un fin ecológico que consiste en que, al permitir

el paso de luz, se puede ahorrar costos de energía en lo que respecta a la iluminación de edificaciones donde se emplea este. Y se emplea principalmente en muros.



Figura 26. Aplicación del concreto translucido en una edificación. Fuente: Colegio Mexicano de Ingenieros Civiles A.C. (Alejandro Monroy Bobadilla), Disponible en: <https://cmicac.com/2018/11/06/hormigon-translucido/>

2.2.2.8. Concreto coloreado.

El concreto coloreado se puede producir con el uso de agregados coloreados o con la adición de pigmentos (de acuerdo a la ASTM C 979, o en México de acuerdo a la NMX-C-313) o ambos. Cuando se usan agregados coloreados, se les debe exponer en la superficie. Los agregados coloreados pueden ser rocas naturales, tales como cuarzo, mármol y granito o pueden ser materiales cerámicos. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

En lo que respecta a normativa internacional para este concreto se tiene la ACI PRC-310-19, cuyo título es “Guide to Decorative Concrete” (Guía para Concreto Decorativo), en la cual se pueden encontrar diversos aspectos a tomar en cuenta en la elaboración y aplicación del concreto coloreado, tales como las consideraciones a tomar en cuenta para el diseño de este, técnicas para el coloreado, entre otros aspectos, hasta llegar al mantenimiento que se le tiene que dar a las construcciones que utilicen este material.

Los pigmentos son finas partículas de polvo, con una granulometría aún más fina que la del cemento. Son químicamente inertes, insolubles en agua y resisten la alcalinidad del cemento y crean un color permanente en el concreto. Un buen color depende de la pureza del pigmento, del porcentaje de sustancia colorante, de su finura y su granulometría. (360 en Concreto, 2013)

La cantidad de pigmento adicionada al concreto no debe exceder 10% de la masa de cemento. La cantidad necesaria depende del tipo de pigmento y del color deseado. Por ejemplo, una dosis de pigmento de 1.5% de la masa de cemento puede producir un agradable color pastel, pero puede ser necesario el 7% para producir un color fuerte. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)



Figura 27. Elementos de diversas tonalidades de concreto coloreado. Fuente: Flickr – Han crete, disponible en: <https://www.flickr.com/photos/44795692@N04/4134044944/>

Existen dos tipos de pigmentos que se utilizan en este concreto, los pigmentos orgánicos y los inorgánicos. Los primeros provienen de los óxidos de metales, óxidos de cromo y de los óxidos férricos y ferrosos. Los pigmentos inorgánicos son obtenidos por medio de la precipitación química de cristales de sulfatos ferrosos e hidróxido de sodio.

Este concreto trae grandes beneficios estéticos, por lo que es muy utilizado para el diseño arquitectónico, ya que este es una alternativa económica a los materiales costosos de construcción como la piedra o los azulejos, además, se puede utilizar de diversas maneras decorativas.



Figura 28. Aplicación del concreto coloreado para el diseño de un piso. *Fuente: The Concrete Network (Anne Balogh), disponible en: <https://www.concretenetwork.com/concreto-coloro/>*

CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Asimismo, podemos encontrar dos enfoques principales de la investigación los cuales son el cuantitativo y el cualitativo. El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

Mientras que el enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

La presente investigación titulada “Concretos especiales, usos e implementaciones en obra civil” se llevó a cabo siguiendo el enfoque cualitativo, así como empleando técnicas de investigación documental, las cuales consideran en su ejercicio el uso práctico y racional de los recursos bibliográficos disponibles de las diferentes fuentes de información.

La metodología se centró en diversas etapas que permitirán realizar una búsqueda óptima de la información.

3.1. Selección de documentos.

En esta etapa fueron establecidos los parámetros que debían contener los recursos bibliográficos para que se garantizara la calidad de la información.

De tal manera que se estableció como prioridad el recopilar información de un periodo no mayor de 10 años a la fecha, Consultando libros, revistas relacionadas con nuevos materiales y construcción que tengan un factor de impacto aceptable, tesis relacionadas a los temas de universidades importantes, fichas técnicas de estos nuevos materiales, documentos técnicos y la normativa vigente, que a nivel nacional se tomó de las normas técnicas complementarias para diseño y

construcción de estructuras de concreto y a nivel internacional se tomó de la normativa del ACI es decir del Instituto Americano del Concreto.

3.2. Definición de las bases conceptuales

Esta etapa consistió en una revisión de conceptos básicos que facilitaran el correcto entendimiento del tema.

En donde fueron estudiados temas relacionados al concreto y sus componentes, como lo son el cemento, agua, agregados, aditivos y adiciones minerales. También las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido de este material. conceptos que al ser comprendidos permitirán hacer una comparación del concreto convencional frente a los concretos especiales.

3.3. Procesamiento y análisis de la información documental

En esta tercera etapa fueron implementadas técnicas de planificación, registro y ordenamiento de la información recabada para facilitar el análisis de los datos y la elaboración del trabajo de investigación.

Este fue un análisis de los resultados crítico, donde se buscó obtener los mayores argumentos posibles basados en la gama de opiniones y resultados vertidos en todas las fuentes consultadas.

Este análisis permitió conocer las ventajas y posibles limitantes de los concretos especiales en comparación del concreto convencional, para así poder identificar áreas de oportunidad, e incluso propuestas para que estos sean introducidos en los proyectos de construcción en la ciudad de Mazatlán, que permitan mejorar estos en diversos aspectos como en cuestión de procesos constructivos y en la calidad de las obras que se realizan.

3.4. Redacción del documento de investigación.

Finalmente, esta investigación culminó con la realización de un compendio de información ordenada y estructurada, que facilite al lector el entendimiento de la información.

CAPITULO IV. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

4.1. Concretos especiales aplicados en obras civiles.

4.1.1. Obras de concreto autocompactante.

4.1.1.1. Puente de Akashi Kaikyō.

Una de las obras pioneras en aplicar el concreto autocompactante fue el puente colgante de Akashi Kaikyō, en Japón, mismo país donde se desarrolló este tipo de concreto especial. En esta obra se utilizó en los bloques de anclaje de este puente, el cual tiene un vano o luz máximo de 2 kilómetros, y se utilizaron 250,000 m³ de concreto autocompactante en cada bloque.

Este puente fue construido desde 1988 hasta 1998 cuando se inauguró, cuenta con una longitud total de 3911 metros, formada por tres vanos, la altura de las torres principales es de 282.80 metros sobre el nivel del agua y 297.30 metros hasta el final de los anclajes. Este puente conecta Kobe, en la isla de Honshu, con Iwaya en la isla de Awaji, Japón, cruzando el transitado Estrecho de Akashi, por lo que también es conocido como el Gran Puente del Estrecho de Akashi.



Figura 29. Puente de Akashi Kaikyō. Fuente: Wikiarquitectura, disponible en: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/puente-de-akashi-kaikyo/>

4.1.2. Obras de concreto de alta resistencia.

4.1.2.1. Rascacielos Burj Khalifa.

El mejor ejemplo de la aplicación de este tipo de concreto es el rascacielos más alto del mundo llamado “Burj Khalifa” el cual cuenta con 186 pisos y una altura máxima de 828 metros. Esta edificación se ubica en la ciudad de Dubái, en el país de Emiratos Árabes Unidos. Esta obra se comenzó en 2004 y se terminó en 2010.



Figura 30. Rascacielos Burj Khalifa.
Fuente: ArchDaily México, disponible en:
<https://www.archdaily.mx/mx/882211/burj-khalifa-som>

Este edificio está hecho de concreto reforzado hasta el piso 156 (586 metros), a partir de esta altura lo restante se hizo con acero estructural, para hacer más ligera la estructura.

El concreto utilizado en esta obra, fue de alta resistencia, debido a la gran demanda de resistencia a la compresión que se tenía para poder tener elementos de concreto reforzado de dimensiones no tan grandes. La resistencia de este fue de más de 80 MPa (más de 800 kg/cm²)

4.1.3. Obras de Concreto lanzado.

4.1.3.1. Central Hidroeléctrica Nathpa Jhakri.

El proyecto de la central eléctrica de Nathpa Jhakri, en India, en un comienzo se diseñó con hormigón vaciado en sitio de 300 milímetros de espesor e inyecciones de consolidación. Sin embargo, al iniciarse la construcción, se propuso sustituir este revestimiento por concreto lanzado, con un espesor de 100 milímetros, reforzado con pernos de anclaje y fibra. Finalmente, luego de varios estudios, se estableció una capa de 50 milímetros y una segunda que variaba entre 100 y 150 milímetros. Al hacerse estos cambios, se logró un ahorro cercano al 15% en los costos de fortificación y la reducción a diez meses en el tiempo de construcción. (Sharma, 2008)

Esta obra se encuentra en el río Satluj en Himachal Pradesh, es una presa de gravedad hecha de concreto, cuyo propósito fue la producción de energía hidroeléctrica. Su construcción comenzó en 1993 y se terminó en 2004.



Figura 31. Proyecto hidroeléctrico Nathpa Jhakri. Fuente: *The News Himachal*, disponible en: <https://thenewshimachal.com/2013/07/sjvn-registers-343-24-cr-profit-up-by-8-87-percent/>

4.1.4. Obras de concreto masivo.

4.1.4.1. Puente Pumarejo.

Un caso representativo del empleo de este concreto, es que se utilizó en los encepados (cimentación superficial) de las pilas principales del puente Pumarejo, principalmente en las pilas 13 y 14.

Para el caso específico de los encepados de las pilas mencionadas, se habla de estructuras de concreto masivo. Ya que estas estructuras generan altas temperaturas durante su fraguado, lo que causa cambios volumétricos diferenciales que por contar con restricción de movimiento libre en el momento de desencofrar se tendrá como resultado: deformaciones y tensiones que causan agrietamientos en la estructura diseñada, por lo que se han tenido que tomar medidas para garantizar el correcto funcionamiento de ellas además de ensayos para medir la temperatura de estos. (Rodriguez Cabarcas, 2019)

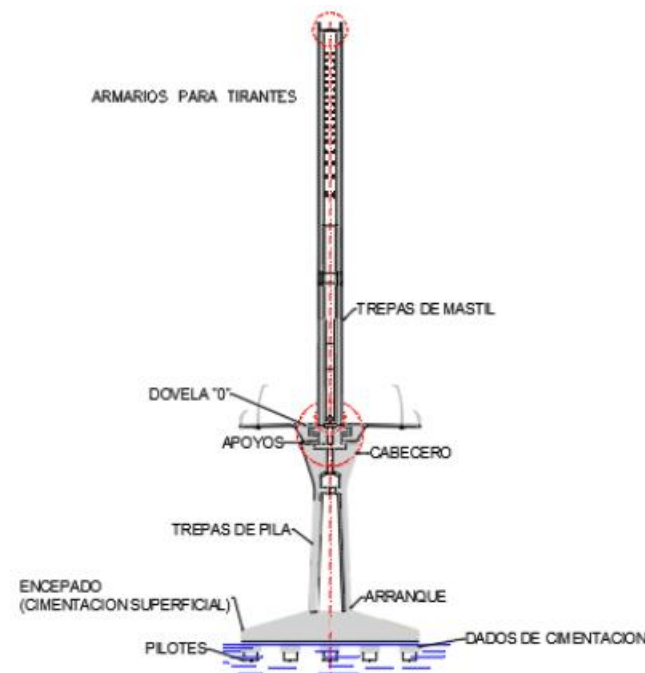


Figura 32. Esquema general de torres de atirantamiento del puente Pumarejo. Fuente: (Rodriguez Cabarcas, 2019)

Este puente atirantado está ubicado sobre el río Magdalena, cerca de Barranquilla, Colombia. Tiene una longitud de 3237 metros y un ancho de 45 metros, fue construido de 2015 a 2019.



Figura 33. Puente Pumaréjo, Colombia. Con vista de los encepados hechos de concreto masivo. Fuente: Forbes, disponible en: <https://forbes.co/2019/12/19/actualidad/los-problemas-que-empanan-la-apertura-del-nuevo-puente-pumarejo>

4.1.5. Obras de concreto compactado con rodillo (CCR).

4.1.5.1. Presa El Zapotillo.

El mayor uso que se le ha dado a este tipo de concreto, es en la creación de presas, debido a los grandes beneficios en cuanto a tiempo y costos que presenta frente al concreto convencional. Una obra representativa donde se usó este concreto fue en la presa El Zapotillo, ubicada a 100 km de Guadalajara, sobre el río Verde, en Jalisco, México. Esta es una presa de gravedad construida con concreto compactado con rodillo con una planta en curva de coronación de 401 metros y una altura sobre cimientos de 133 metros.

Esta es una obra que debido a problemas con respecto a las comunidades cercanas que necesitaban ser reubicadas, se encuentra detenida, tenía una cortina propuesta de 105 metros, pero se detuvo con la cortina construida hasta 80 metros.



Figura 34. Presa el Zapotillo, Jalisco, México. *Fuente: El sol de México, disponible en: <https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/jalisco-y-guanajuato-buscan-reactivar-presa-el-zapotillo-para-enfrentar-sequia-6875919.html>*

4.1.6. Obras de concreto de alta densidad.

4.1.6.1. Laboratorio de luz del Sincrotrón, proyecto Túnel Alba.

Un ejemplo llamativo de la aplicación del concreto pesado en una obra, es el caso del Túnel o Sincrotrón Alba.

Túnel ALBA es el nombre que recibe el primer recinto experimental correspondiente al complejo del primer sincrotrón construido en España. Un sincrotrón es un anillo por el que viajan los electrones acelerados con una energía de hasta 3 GeV, radiando una luz que brilla más que el Sol. Esta luz, tangente a la trayectoria de los electrones, es la fuente de las investigaciones. Por este motivo pasará a través de los cabezales de los muros de alta densidad hasta llegar a los recintos experimentales. La obra del sincrotrón está situada en el Parc Tecnològic del Vallès, entre los términos municipales de Cerdanyola del Vallès y Sant Cugat, dos ciudades perfectamente comunicadas por lo que el transporte de concreto se ve facilitado. (Toledo, 2008)

El concreto pesado es de mucha utilidad en este tipo de obras, ya que garantiza estanqueidad del recinto y evita que los electrones pierdan su trayectoria circular dentro del túnel. (Toledo, 2008)

El concreto empleado en esta obra tiene una densidad mínima de 3200 kg/m^3 para los diferentes elementos de la estructura, ya sea de construcción in situ como los muros o en los elementos prefabricados.

Este proyecto se comenzó a construir en 2006 y después de varias etapas se inauguró en 2010, y actualmente se encuentra en proceso de renovación de sus instalaciones.



Figura 35. Vista aérea del Síncrotrón ALBA. Fuente: Wikipedia, disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/ALBA_%28sincrotr%C3%B3n%29



Figura 36. Vista del interior del túnel ALBA. Fuente: Wikipedia, disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/ALBA_%28sincrotr%C3%B3n%29

4.1.7. Obras de concreto antibacteriano.

4.1.7.1. Salón de la Fama del Beisbol Mexicano.

Este recinto está ubicado en el Parque Fundidora de la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, México. Y fue construido con un concreto antibacteriano elaborado por CEMEX llamado Antibac Biocrete, con el propósito de que este tipo de concreto ayudara en la preservación de los artículos exhibidos. Esta obra tuvo una superficie de construcción de 13,192 m² y fue inaugurada en el año 2019.



Figura 37. Vista exterior del Salón de la Fama del Beisbol Mexicano. *Fuente:* ArchDaily México, disponible en: <https://www.archdaily.mx/mx/934239/salon-de-la-fama-del-beisbol-mexicano-daniel-lopez-salgado-and-asociados>

4.1.8. Obras de concreto translucido.

4.1.8.1. Pabellón Italiano en la expo de Shanghái.

Esta construcción presente en la exposición internacional de 2010, que fue inaugurada en Shanghái el primero de mayo de dicho año empleo el concreto translucido en un 40% del pabellón es decir una superficie de 1887 metros cuadrados de esta construcción. Lo cual permitió que ganara gran interés ya que durante el día se podía apreciar como la luz se filtraba a través de los paneles de este material y notar los cambios dependiendo de la intensidad de la luz.



Figura 38. Vista exterior del Pabellón Italiano presente en la exposición internacional de Shanghái 2010. Fuente: *Interempresas*, disponible en: <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/40660-El-pabellon-italiano-en-Shangai-contruido-con-cemento-transparente.html>

CONCLUSIONES.

El uso de concretos especiales en las últimas décadas ha ido en aumento, ya que trae consigo grandes beneficios para los ingenieros civiles, brindando nuevas posibilidades para dar solución a problemáticas que se presentaban en la construcción o incluso dando respuestas a nuevas necesidades que se presentan al introducir la innovación en esta área.

El concreto autocompactante ha permitido la construcción de elementos con formas geométricas complejas o en zonas de difícil acceso para el proceso de vibrado, así como su uso en el área de prefabricados para facilitar su producción de manera industrial.

El concreto de alta resistencia ha permitido la construcción de proyectos que se creían imposibles de realizar debido a sus amplias ventajas.

El uso de concreto en la construcción permite reducir costos al construir edificaciones con un menor peso, por lo cual tanto internacionalmente como en nuestro país se pueden ver cada vez más edificios que utilizan este tipo de concreto.

El concreto lanzado ha sido de gran relevancia para la construcción de túneles y taludes, siendo un factor importante en la reducción de tiempos ya que acelera los procesos constructivos gracias a su distinguida colocación.

El concreto reciclado resulta un material amigable con el medio ambiente, lo que permite dar paso a construcción más sustentable y con una significativa mejora en su ciclo de vida.

El concreto reforzado con fibras mejora las propiedades del concreto, pero este se destaca más en el área industrial, ya que al mejorar la durabilidad del concreto se vuelve un material muy utilizado en proyectos vulnerables a la presencia de impactos.

Para la implementación del concreto masivo es importante conocer y saber cómo trabajar con él, ya que de ser necesario usar grandes volúmenes de concreto en una obra, debemos de conocer las medidas para controlar el calor generado.

El uso de concreto compactado con rodillo se da especialmente en pavimentos, principalmente en presas, mediante su gran uso podemos reconocer la facilidad de trabajar con este material.

El concreto permeable es uno de los concretos especiales de mayor interés, ya que da solución con cuestiones del drenaje de agua y las inundaciones causadas por el estancamiento de esta, sin olvidarnos del beneficio ambiental que puede ofrecer al permitir que el agua pase a través de él para dirigirse al subsuelo.

El uso de concreto de alta densidad ha adquirido una gran relevancia, ya que algunos avances traen consigo la presencia de radiación lo que requiere tener un material como este que funciona como blindaje.

El uso de concreto de contracción compensada ha dado solución a la problemática de contracción por secado que causa agrietamiento, permite la construcción de pisos industriales de mayores áreas que de otra manera no serían posibles.

El concreto antibacteriano es uno de los concretos especiales más recientes, por lo que aún hay investigaciones sobre este y como aplicarlo, pero sin duda es un material que trae consigo grandes beneficios para el área de la salud, por lo que su desarrollo es muy importante.

El concreto translucido es otro de los concretos especiales más recientes, su principal uso puede ser relacionada con la iluminación en edificaciones.

El concreto coloreado que es un tipo de concreto cuyo propósito es meramente decorativo, pero a su vez demuestra como las modificaciones directas a un material tan utilizado como el concreto convencional nos pueden brindar alternativas para necesidades que se presentan en la construcción.

RECOMENDACIONES

El uso de los concretos especiales si bien ha ido en aumento en los últimos años necesita un mayor impulso, el cual sería una normativa para seguir, el contar con esta facilita la aplicación de estos ya que se tendría una guía de la manera correcta de elaborarlos, emplearlos, y las problemáticas que pueden surgir al utilizarlos, además de que a los constructores les beneficia tener un sustento en el cual ampararse al utilizar estos. Si bien si existe normativa, como lo es a nivel nacional las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, donde se mencionan seis de los catorce concretos especiales presentes en esta investigación, esto no es suficiente para ser una normativa que impulse el uso de estos nuevos materiales, debido a que solo se hace un resumen de las propiedades de estos, y en algunos casos criterios que deben cumplir, pero no se llega a un nivel como el de la normativa internacional que como principal referente para lo relacionado a concretos tenemos al Instituto Americano del Concreto (ACI), en donde se pueden encontrar múltiples informes acerca de los concretos especiales, donde se explican temas desde las características de los materiales a utilizar, su proporción, elaboración de la mezcla, guías de diseño, hasta la colocación del concreto y las pruebas a realizar. Es decir, el ACI brinda información técnica que facilita que el ingeniero civil utilice y confíe en los concretos especiales, lo cual en México aún es necesario emplear, ya que, si se contara con una normativa nacional acerca de los diversos tipos de concretos con propiedades especiales que existen, veríamos aún más el uso de estos. A pesar de esto la ACI no cuenta con normativa para todos los concretos especiales, como es el caso del concreto antibacteriano y translucido, que han surgido recientemente, lo que provoca que estos dos sean de los menos empleados en la actualidad.

Finalmente, los concretos especiales tienen una gran área de oportunidad en una ciudad en crecimiento urbano como lo es Mazatlán, el concreto de alta resistencia es fácilmente aplicable en las nuevas torres que se construyen en esta ciudad, el concreto reciclado para ayudar con la gran cantidad de escombros que se tiene, el

concreto permeable para solucionar diversos problemas de estancamiento de agua.
Y más situaciones donde el uso de estos beneficiaría a nuestra ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

Valdés, A. (2017). Reciclado de concreto: Aplicaciones y Posibilidades. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 38-42.

360 en Concreto. (2 de Diciembre de 2013). *Concreto de color*. Obtenido de 360 En Concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/el-concreto-de-color/#:~:text=El%20concreto%20de%20color%20se,color%20permanente%20en%20el%20concreto.>

American Concrete Institute. (1991). ACI 211. *Diseño de mezclas de Concreto*.

American Concrete Institute. (2000). ACI 116R-00. *Terminología del cemento y del concreto*.

American Concrete Institute. (2001). ACI 201.2R-01. *Guía para la Durabilidad del Concreto*.

American Concrete Institute. (2001). ACI 555R-01. *Removal and Reuse of Hardened Concrete*.

American Concrete Institute. (2005). ACI 207.1R-05. *Guide to Mass Concrete*.

American Concrete Institute. (2007). ACI 237R-07. *Self-Consolidating Concrete*.

American Concrete Institute. (2010). ACI 223R-10. *Guide for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete*.

American Concrete Institute. (2010). ACI 363R-10. *Report on High-Strength Concrete*.

American Concrete Institute. (2010). ACI 522R-10. *Report on Pervious Concrete*.

American Concrete Institute. (2014). ACI 213R-14. *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*.

American Concrete Institute. (2014). ACI 327R-14. *Guide to Roller-Compacted Concrete*.

American Concrete Institute. (2016). ACI 506R-16. *Guide to Shotcrete*.

- American Concrete Institute. (2018). ACI 544.4R-18. *Guide to Design With Fiber-Reinforced Concrete*.
- American Concrete Institute. (2019). ACI PRC-310-19. *Guide to Decorative Concrete*.
- American Concrete Institute. (2020). ACI 304.3R-20. *Heavyweight Concrete: Measuring, Mixing, Transporting, and Placing*.
- American Society for Testing and Materials. (2007). ASTM C 150-07. *Especificación Normalizada para Cemento Portland*.
- CEMEX. (24 de Julio de 2018). *Historia del Concreto*. Obtenido de Cemex Costa Rica: <https://www.cemexcostarica.com/soluciones-al-constructor/concretos/historia-del-concreto>
- Gajda, J., & VanGeem, M. G. (2002). Controlling Temperatures in Mass Concrete (Control de las temperaturas en el Concreto Masivo). *Concrete International*, 59-62.
- Gómez Martínez, M. Á. (2011). Diseño estructural de edificios altos tipo torre empleando concreto de alta resistencia. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (31 de Octubre de 2001). NTC 3459. *Concretos. Agua para la elaboración de concreto*.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
- Loor Torres, X. E. (2015). Desarrollo de un modelo térmico para hormigón masivo con cemento tipo GU. *Tesis de pregrado*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

- López Celis, R. (2006). *Durabilidad de la infraestructura de concreto Reforzado Expuesta a Diferentes Ambientes Urbanos de México*. Sanfandila, Queretaro: Instituto Mexicano del Transporte.
- Mehta, P., & Monteiro, P. (1998). *Concreto: estructura, propiedades y materiales*. México: IMCYC.
- Neville, A. (2010). *Concrete technology*. Londres: Prentice-Hall.
- Neville, A. M. (1995). *Tecnología del Concreto*. México: IMCYC.
- NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association. (2017). *CIP 16 - Resistencia a Flexión del Concreto*. Obtenido de El concreto en la Práctica: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>
- NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association. (2017). *CIP 33- Concreto de Alta Resistencia*. Obtenido de El Concreto en la Práctica: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/32pes.pdf>
- NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association. (2020). *CIP - 36 Concreto Estructural de Peso Liviano*. Obtenido de El Concreto en la Práctica: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP36es.pdf>
- NRMCA: National Ready Mixed Concrete Association. (Abril de 2020). *CIP 38 - Concreto Permeable*. Obtenido de El concreto en la Práctica: <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP38es.pdf>
- Ochoa Martínez, R. (2014). Concreto pesado para la Salud. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 48-51.
- Ottazzi, G. (2004). "Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado". *Tesis de maestría*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Park, S.-B., & Tia, M. (2004). An experimental study on the water-purification properties of porous concrete. *Cement and Concrete research*, 34(2), 177-184.

- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Paris: UNAS.
- Redacción 360 en concreto. (16 de Febrero de 2015). *Concreto traslúcido: viendo a través de las estructuras*. Obtenido de 360 En Concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-traslucido/>
- Reyes, A. (Abril de 2002). *Concreto Lanzado*. Obtenido de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto: <http://www.imcyc.com/cyt/abril02/conclanzado.htm>
- Rodriguez Cabarcas, D. A. (2019). Evaluación termodinámica de las estructuras de concreto masivo: Estudio nuevo puente pumarejo. *Tesis de pregrado*. Universidad de la Costa, Barranquilla.
- Rodríguez, J. (Febrero de 2003). *Concreto autocompactable*. Obtenido de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto: <http://www.imcyc.com/cyt/febrero03/autocompactable.htm>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sánchez Pérez, J. L., González García, M. d., Prieto Barrio, M. I., & García López de la Osa, G. (2019). Estudio reológico experimental de un hormigon autocompactante reforzado con fibras de acero. *Anales de Edificación*, 80-86.
- Sharma, H. (2008). Challenges in design and construction of HRT of Nathpa Jhakri hydroelectric project (1500 mw) - A case study.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. (2017). Normas Tecnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto.
- Toledo, Y. H. (2008). Hormigón de muy alta densidad. *Tesis de Maestría*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Umeres Acurio, M. A., & Chávez Perea, M. E. (2019). Elaboración de concreto antibacterial mediante ensayos de laboratorio con el fin de evaluar la durabilidad y reducir costos de mantenimiento en estructuras de sistemas de

alcantarillado en Lima Metropolitana. *Tesis de Pregrado*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

Vidaud, E. (2013). De la historia del Cemento . *Construcción y Tecnología en Concreto*, 20-23.

Vidaud, I., Frómeta, Z., & Vidaud, E. (2015). Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte I). *Construcción y Tecnología en Concreto*, 30-35.

Vidaud, I., Frómeta, Z., & Vidaud, E. (2015). Una aproximación a los concretos reforzados con fibras (parte II). *Construcción y Tecnología* , 34-37.