



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO.**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS
DE CONCRETO REFORZADO”**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERA CIVIL

Presenta:

KARLA MARLENE ORTA ZAMORA

Director de tesis:

DR. JOSÉ CARLOS RUBIO AVALOS

Morelia, Michoacán Septiembre 2022

RESUMEN

Las estructuras de hormigón son uno de los elementos estructurales que se ven afectados a lo largo de su vida útil, por lo que es importante conocer algunas de las técnicas que nos ayudan a mejorar su funcionalidad o, en el caso de que sufran daños, qué técnicas podemos utilizar, para su rehabilitación, esto depende del daño causado, el cual puede ser superficial o interno.

Las estructuras de hormigón son unas de las estructuras más elementales. Con la intención de saber si la resina epoxi es viable para el sellado de fisuras, se ensayaron 6 cilindros de hormigón ligero autonivelante, sometiéndolos a una carga de compresión simple, una vez aparecidas las fisuras, se tomó la lectura y 3 de ellos se cubrieron con resina epóxica, los 3 restantes se cubrieron con resina epóxica y fibra de carbono, luego de 48 horas se aplicó una segunda capa, se dejó por 72 horas y luego se sometió a compresión nuevamente.

Teniendo como resultado que no existe mayor diferencia entre utilizar resina epóxica resina epóxica más fibra de carbono, ya que ambos resultados mostraron similitud.

Palabras Claves: Técnica, Rehabilitación, Epóxica, Funcionabilidad, Estructuras.

ABSTRACT

Concrete structures are one of the structural elements that are affected throughout their useful life, so it is important to know some of the techniques that help us improve their functionality or, in the event that they suffer damage, what techniques we can use, for its rehabilitation, this depends on the damage caused, which may be superficial or internal. The concrete structures are one of the most element structures With the intention of knowing if the epoxy resin is viable for sealing cracks, 6 cylinders of self-leveling lightweight concrete were tested, subjecting them to a simple compression load, once the cracks appeared, their reading was taken and 3 of them were covered with epoxy resin, the remaining 3 were covered with epoxy resin and carbon fiber, after 48 hours a second layer was applied, left for 72 hours and then subjected to compression again.

Having as a result that there is no major difference between using epoxy resin or epoxy resin plus carbon fiber, since both results showed similarity.

Keywords: Techniques, Rehabilitation, Epoxy, Functionality, Structures.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada especialmente a mi padre Carlos Orta quien sin su ayuda no hubiera podido lograrlo, quien me apoyo incondicionalmente, y aunque hoy no este presente, este logro es por él.

A mi mamá quien me brindo su cariño, apoyo y nunca me dejo sola.

A María quien me apoyo incondicionalmente para terminar mi carrera cuando mi papá falleció.

A mi mejor amiga Michelle quien siempre estuvo apoyándome emocionalmente e incondicionalmente.

A mi mejor amigo Leonardo, por siempre apoyarme y nunca dejar que me rindiera en este proceso.

A mi tía Ma. Helena por su apoyo y cariño incondicional en los momentos difíciles.

A mi asesor quien me acompaño en este camino y nunca me dejo sola.

Para ellos está dedicatoria de tesis, porque gracias a ellos esto fue posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo por abrirme sus puertas.

A la Facultad de Ingeniería Civil, que fue mi segundo hogar, donde encuentre las mejores personas que hoy forman mi vida.

Al Laboratorio de materiales Sección de Investigación e Innovación tecnológica de materiales para la construcción, que me brindaron el apoyo necesario para alcanzar está meta.

Al Laboratorio de Materiales sección corrosión, donde pase las mejores horas de mi carrera universitaria.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE IMÁGENES	VIII
OBJETIVOS	X
Objetivo General.	X
Objetivo Específico.	X
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO II	3
DETERIORO Y DURABILIDAD DEL CONCRETO Y CONCRETO REFORZADO	3
2.1 DETERIORO Y DURABILIDAD DEL CONCRETO Y CONCRETO REFORZADO.	4
2.2 SOLUCIONES PARA INCREMENTAR LA DURABILIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO.	6
2.3 DURABILIDAD EN EL CONCRETO REFORZADO.	10
2.4 HISTORIA DEL CONCRETO.	11
2.4.1 Cemento Romano.	12
2.4.2 Cemento Egipcio.	14
2.4.3 Cemento Mexicano	14
2.4.4 Proceso de fabricación del cemento Portland	16
2.4.5 Concreto sin cemento Portland	17
CAPÍTULO III	18
MÉTODOS Y TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO	18
3. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO.	19
3.1 Resistencia a la penetración.	19
3.2 Velocidad de pulso ultrasónico.	20
3.3 Cilindro colado en obra	20
3.4 Método de madurez	22
3.5 Método de extracción	23
3.6 Método de rebote	23
CAPÍTULO IV	25
MÉTODOS Y TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO	25
4. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.	26
4.1 Rehabilitación de estructuras vulnerables a sismos.	26
4.2 Envolvente de concreto reforzado.	28
4.3 Reparación de grietas en estructuras de concreto por inyección de resinas epóxicas.	30
4.4 Métodos de inyección de resina epóxicas en grietas.	32
4.5 MATERIALES COMPUESTOS PARA REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.	36
4.5.1 Fibras de carbono.	36

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

4.5.2 Fibras de vidrio. _____	37
4.6 Resina poliéster _____	39
4.6.1 Resina poliéster ortoftálticas _____	39
4.6.2 Resina poliéster isoftálticas _____	39
CAPÍTULO V _____	40
CONCRETOS AUTO-REPARABLES _____	40
5.1 CONCRETOS FUNCIONALES O INTELIGENTES. _____	41
5.2 CONCRETO AUTO-REPARABLE USANDO BACTERIAS. _____	41
5.2.1 Micro-bacteria _____	43
CAPÍTULO VI _____	44
ANÁLISIS DE UN CASO EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO REHABILITADO CON RESINA POLIÉSTER-ESTIRENO Y DEL COMPUESTO POLIÉSTER-ESTIRENO REFORZADO CON FIBRAS DE CARBONO _____	44
6.1 CONCRETOS LIGEROS. _____	45
6.1.2 Función de los concretos ligeros. _____	45
6.2 AGREGADOS LIGEROS. _____	45
6.2.1 Agregados naturales. _____	45
6.3 AGREGADOS SINTÉTICOS _____	48
6.3.1 Ceniza volante _____	48
6.3.2 Escoria de alto horno _____	48
6.4 ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES. _____	49
6.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. _____	49
6.5.1 Tipo de fracturas causadas por carga a compresión. _____	50
6.6 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO ELABORADO CON PERLITA Y CEMENTO PORTLAND COMPUESTO A 11 AÑOS DE EDAD. _____	50
6.6.1 Análisis de resistencia a la compresión simple y modos de falla. _____	50
6.7 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO ELABORADO CON PERLITA Y CEMENTO PORTLAND COMPUESTO A 11 AÑOS DE EDAD, IMPREGNADO CON RESINA POLIÉSTER INSATURADO PARA EL SELLADO DE FRACTURAS OCASIONADAS POR LA FRACTURA A COMPRESIÓN SIMPLE. _____	58
CONCLUSIONES _____	67
REFERENCIAS _____	69

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Anchos razonables para concreto reforzado bajo cargas de servicio.</i>	32
<i>Tabla 2.- Resumen de resultados de la prueba a compresión.</i>	57
<i>Tabla 3.- Comparativa de carga máxima en muestra con resina de poliéster.</i>	62
<i>Tabla 4.- Comparativa de carga máxima con resina poliéster y fibra de carbono</i>	65

INDICE DE IMÁGENES

Figura 1.- Permeabilidad del concreto en diferentes relaciones A/C. (Hermida, 2013) _____ 9

Figura 2.- Permeabilidad del concreto con diferentes relaciones A/C. Los triángulos son pruebas sin impermeabilizante, los rectángulos son muestras con impermeabilizante. _____ 10

Figura 3.- Coliseo Romano, Roma Italia _____ 13

Figura 4.- Panteón de Roma, Roma Italia. _____ 13

Figura 5.- Pirámide de Gizeh, Egipto. _____ 14

Figura 6.- Zona Arqueológica Yaxchilán Chiapas, México _____ 15

Figura 7.- Proceso de producción del cemento _____ 16

Figura 8.- Proceso de medición de la propagación de la velocidad de la energía a través del concreto. _____ 20

Figura 9.- Cilindros colados en obra, cubiertos en la parte superior de plástico, para conservar humedad. (20/enero/2022) _____ 21

Figura 10.- Cilindro cabeceado con azufre, listo para ser probado por compresión. (17/febrero/2022) _____ 21

Figura 11.- Curva relación madurez-resistencia a la compresión. _____ 22

Figura 12.- Proceso de extracción del corazón, en una estructura de concreto. _____ 23

Figura 13.- Descripción del funcionamiento del martillo Schmidt. _____ 24

Figura 14.- Reforzamiento con marco metálico (19/Marzo/2022), Sika® _____ 26

Figura 15.- Envoltente de concreto y muro lateral en columna existente. _____ 27

Figura 16.- Envoltente con malla de acero. _____ 27

Figura 17.- Envoltente con ángulos y platinas de acero. (19/Marzo/2022), Sika® _____ 28

Figura 18.- Columna con refuerzo expuesto, para proceso de reforzamiento. (19/Marzo/2022) _____ 29

Figura 19.-Encofrado de columna. _____ 29

Figura 20.- Rehabilitación de columna con envoltente de concreto reforzado. _____ 30

Figura 21.- Fisura en muro producida por el sismo de marzo 2017. (26/Marzo/2022) _____ 31

Figura 22.- Limpieza de grieta con cepillo de alambre. _____ 33

Figura 23.- Puertos de inyección. (27/Marzo/2022) _____ 33

Figura 24.- Puerto de inyección colocado con mortero epóxico. (27/Marzo/2022) _____ 34

Figura 25.- Limpieza de grieta con aire comprimido. _____ 34

Figura 26.- Inyección de resina epóxica. _____ 35

Figura 27.- Sellado de puertos. _____ 35

Figura 28.- Grieta sellada con resina epóxica. _____ 36

Figura 29.- Placa de fibra de carbono. _____ 37

Figura 30.- Rehabilitación de estructura de concreto, utilizando fibra de carbono. _____ 37

Figura 31.- Fibra de vidrio. _____ 38

Figura 32.- Resina poliéster _____ 39

Figura 33.- Hidratación de la partícula de cemento. _____ 42

Figura 34.- Fisura en el concreto debido a la pérdida de agua en la superficie. _____ 42

Figura 35.- Proceso de auto-curación por medio de bacterias. _____ 43

Figura 37.- Apariencia de un agregado grueso ligero. _____ 46

Figura 38.- Perlita expandida. _____ 47

Figura 39.- Piedra Pómez _____ 47

Figura 40.- Ceniza volante. _____ 48

Figura 41.- Escoria de alto horno. _____ 49

Figura 42.- Tipos de fracturas. (23/Mayo/2022) _____ 50

https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/NTG_41017_h1_ASTM_C39.pdf _____ 50

Figura 43.- Modo de falla de la muestra No.1. (23/Mayo/2022) _____ 51

Figura 44.- Muestra No.2, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022) _____ 52

Figura 45.- Muestra No.2, Fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022), _____ 52

Figura 46.- Muestra No.3, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022), _____ 53

Figura 47.- Muestra No.3, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022) _____ 53

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

<i>Figura 48.- Muestra No.4, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)</i>	54
<i>Figura 49.- Muestra No.4, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)</i>	54
<i>Figura 50.- Muestra No.5, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)</i>	55
<i>Figura 51.- Muestra No.5, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)</i>	55
<i>Figura 52.- Muestra No.6, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)</i>	56
<i>Figura 53.- Muestra No.6, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)</i>	56
<i>Figura 54.- Muestras después de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)</i>	57
<i>Figura 55.- Resina poliéster. (9/Junio/2022)</i>	59
<i>Figura 56.- Catalizador peróxido de metil-etil-cetona. (9/Junio/2022)</i>	59
<i>Figura 57.- Consistencia de la resina mezclada con el catalizador. (9/Junio/2022)</i>	60
<i>Figura 58.- Muestras selladas con resina poliéster. (9/Junio/2022)</i>	60
<i>Figura 59.- Muestra No.1 después de la carga aplicada de compresión simple.</i>	61
<i>Figura 60.- Muestra No.3 después de la carga aplicada de compresión simple. (9/Junio/2022)</i>	61
<i>Figura 61.- Interior de la muestra No.1, donde se observa que no hay penetración de resina poliéster en su interior. (9/Junio/2022)</i>	62
<i>Figura 62.- Fibra de carbono, (9/Junio/2022)</i>	63
<i>Figura 63.- Materiales utilizados para elaboración de la mezcla para rehabilitado. (9/Junio/2022)</i>	64
<i>Figura 64.- Muestra No. 4 rehabilitada con la primera capa de resina poliéster y fibra de carbono. (9/Junio/2022)</i>	64
<i>Figura 65.- Falla de la muestra No.4 después de la rehabilitación y curado. (9/Junio/2022)</i>	65

OBJETIVOS

Objetivo General.

Evaluación y rehabilitación de estructuras de concreto reforzado.

Objetivo Específico.

Conocer el comportamiento de muestras rehabilitadas con resina epóxica y resina epóxica con fibra de carbono.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las construcciones nacieron de la necesidad del hombre de establecerse en un solo lugar, con forme a la evolución y cambios de la humanidad y estilo de vida, así fue evolucionando la construcción desde casas construidas con adobe hasta el uso del concreto hoy en día.

Pero también con forme fueron pasando los años nos vamos enfrentando a diversas situaciones que afectan a nuestras estructuras, es por eso que en la presente tesis tiene como objetivo busca alternativas para reparar concretos con diversas técnicas y materiales existentes, esto con la finalidad de brindarles una segunda oportunidad a las estructuras ya existentes. Cabe resaltar que no todas las estructuras son aptas para poder ser rehabilitadas, esto dependerá del grado de daño causado y también de la disponibilidad económica que se tenga.

El enfoque principal de está tesis, es observar el comportamiento de un concreto ligero siendo reparado mediante una resina epóxica y fibra de carbono, para determinar si existe adherencia entre las fisuras y así mismo poder determinar si influye en el aumento y disminución de capacidad de carga a compresión simple.

CAPÍTULO II

DETERIORO Y DURABILIDAD DEL CONCRETO Y CONCRETO REFORZADO

2.1 DETERIORO Y DURABILIDAD DEL CONCRETO Y CONCRETO REFORZADO.

El concreto hidráulico como toda mezcla compuesta de diversos materiales, a lo largo del tiempo o sometido a diversos factores experimenta un proceso de cambio, que este se puede llevar acabo durante su vida útil o posterior a está. Como vida útil nos referimos al periodo de duración que se pretende que una estructura no presente daños menores o significativos en un lapso de tiempo, comúnmente de 50 a 100 años. Debemos tomar en cuenta que si se presentase una alteración en el concreto, esta puede repercutir en la alteración de la estructura así como en su comportamiento.

Para que se lleve acabo un notable deterioro en el concreto hidráulico, requiere de diversos factores y cada de estos factores repercuten de una manera específica en este, dichos factores se pueden presentar desde el proceso de construcción, ambientes a los que es sometida la estructura, accidentes, movimientos de tierras, acciones naturales tales como sismos, los cuales son más propiciados a ocurrir en México.

Tomando en cuenta la ubicación el concreto hidráulico; es decir tenemos una estructura que emplea el uso de concreto hidráulico, dicha estructura está ubicada en una zona costera, comúnmente está zona esta caracterizada por su alta salinidad, ahora supongamos que dicha estructura planteada sufre secado y mojado constantemente, la absorción de la sal proveniente del mar, empezara afectar el concreto y posteriormente el refuerzo de acero, provocando en el, el efecto de corrosión.

Ya ahora podríamos describir está estructura como un pilote que junto con otros sostiene un muelle. Cabe resaltar que para la construcción de estos pilotes se utiliza un concreto especial que tenga resistencia a las sales que se encuentran en la zona, pero sin embargo hoy en día no se ha podido desarrollar un concreto eficaz que nos evite a un 100% el deterioro de este.

Pero lo que si se ha logrado, es ir mejorando poco a poco en la composición de los materiales, agregados, aditivos etc. Todo aquel compuesto que trabajando en conjuntos nos de cómo resultado una mezcla eficaz.

Cuando se diseña una estructura donde se emplea algún tipo de concreto, se analiza:

La durabilidad está definida como la capacidad que tiene las estructuras de concreto reforzado de conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil cuando se ven sometidas a la degradación de su material por diferentes efectos de carga.(Arq. del Rosal, 2017)[6]

Cuando hablamos de durabilidad, nos referimos al tiempo que se mantiene una estructura sin sufrir cambios en su interior o daños, como lo son daños en su estructura, abarcando todos los esfuerzos posibles que puede sufrir.

Para poder clasificar una estructura como durable, se debe de cuidar los siguientes aspectos:

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

1. Diseño de la estructura.
2. Un buen diseño de mezcla
3. Tipo de materiales
4. Control de calidad de la obra
5. Curado

Es necesario tomar en cuenta que el concreto es un material que está compuesto por una estructura porosa, la idea de implementar el uso del agregado es para sellar la mayoría de los poros que se encuentren en su estructura interna. La elección adecuada del agregado, es uno de los puntos que se deben cuidar, para garantizar una buena durabilidad.

1.- Agregados

Se denomina agregados a la arena y grava, que contribuyen a la resistencia estimada del concreto. Para poder hacer la elección de los agregados a utilizar, es necesario realizar pruebas de granulometría, que nos indican si el material a utilizar está dentro de los rangos, estos rangos los regula la curva granulométrica. Qué consta en graficar los tamaños de los agregados respecto al porcentaje acumulado, posterior a esto, se unirán los puntos y se verificara si quedan dentro de los límites. De ser así, puede implementarse el uso de los materiales elegidos.

2.- Agua

El uso del agua es esencial para llevar acabo la mezcla. La cantidad de agua es inversamente proporcional a la resistencia que se pretende alcanzar. Está regulada por la relación agua/cemento(a/c). Resaltando que una baja relación a/c permite que el concreto sea menos permeable.

3.- Aditivos

Los aditivos son sustancias que se pueden o no implementar en una mezcla, al tener está opción de poder o no implementarse, depende de las circunstancias a las que nos enfrentemos, recordemos que los diversos aditivos existentes, pueden ser aceleradores, retardadores, anticongelantes etc. Pero se debe de tomar en cuenta que así como pueden beneficiar, pueden afectar las propiedades de porosidad, que perjudica la durabilidad.

4.-Aire

Al momento de realizar la proporción, generalmente se estima una inclusión de aire del 2%, por lo que estará en contacto del medio ambiente, al momento de realizar la

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

mezcla. Aunque se ha probado que su inclusión intencional ayuda en la resistencia en las construcciones que se encuentran en contacto en zonas heladas, ya que debido a la porosidad que existe, da paso a que el hielo pueda ocupar los poros.

5.- Compactación

La finalidad de la compactación es reducir la mayoría de vacíos que son ocupados por el aire, cuidando que no se produzca segregación. Al momento del proceso de compactación es necesario saber que una mala compactación producirá una elevada porosidad.

6.- Proceso de curado.

Se denomina como proceso de curado, a la hidratación del concreto, después de ser colocado en su sitio. El proceso de curado tiene un tiempo de 28 días, en el cual al termino de este, se dice que el concreto alcanza su resistencia máxima.

2.2 SOLUCIONES PARA INCREMENTAR LA DURABILIDAD DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

Para poder brindar soluciones para incrementar la durabilidad del concreto, primero es necesario conocer ampliamente que causas son las que nos afectan. En México no se ha realizado un estudio sobre las causas de las fallas en la durabilidad del concreto; un estudio similar fue realizado en el España mostrándonos las principales problemáticas que enfrenta, la durabilidad: 39% ocasionado por la construcción, 16% por los materiales y 45% por el diseño. (Valdés, 2017)[27]

El incremento de la durabilidad en el concreto es uno de los retos con el que nos enfrentamos día con día en la construcción. Cuando hablamos de durabilidad lo podemos relacionar con un periodo de tiempo, ahorro económico, servicio, etc.

¿De que depende que el concreto sea durable?

Para obtener el concreto hidráulico, este pasa por una serie de etapas antes de su obtención. La dosificación es una de las etapas fundamentales para la obtención su obtención, en esta etapa, se toma en cuenta características específicas que se adecuaran de acuerdo a las necesidades del uso del concreto, tipo de diseño que se empleara, el tipo de agregado fino y grueso, de donde provienen, sus características, como humedad de absorción, granulometría, tamaño máximo, etc. Así como la cantidad de agua que se utiliza para un m³.

Podemos definir que la durabilidad del concreto es la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & y Tanesi, 2004) [15]

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Entre las más importantes que se encuentran, previamente una buena relación agua-cemento, durante la colocación se debe cuidar el vibrado, y posterior a este, el curado del mismo, entre otros factores que intervienen en su resistencia.

Dentro de la durabilidad del concreto tenemos que tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- Selección de formas estructurales adecuadas.
- 2.- Calidad adecuada de concreto y de su capa exterior.
- 3.- Emplear un espesor de recubrimiento adecuado para proteger las armaduras.
- 4.- Control del valor máximo de aberturas de fisuras.
- 5.- Disposición de protecciones superficiales al estar ante ambientes sumamente agresivos.
- 6.- Disminución al máximo de la permeabilidad.
- 7.- Tomar en cuenta la humedad del concreto y no tanto de la atmosfera circundante, así como la temperatura y la presión. (Arq. del Rosal, 2017)[6]

A continuación, se explicará de una manera más detallada cada uno de los puntos anteriormente mencionados.

2.2.1. Selección de formas estructurales adecuadas.

Cada vez que se realiza una obra de la magnitud que sea, se requiere un diseño estructural, de acuerdo a las necesidades que se vayan a cubrir, tomando en cuenta que dependiendo el tamaño de la obra serán proporcionales los elementos estructurales. En el diseño se toma en cuenta la exposición del elemento es decir en que zona será colocado, para esto existe las Norma Técnicas Complementarias de la Ciudad de México, que ayudan a terminar ciertos parámetros a seguir para realizar una estructura eficaz. Cabe resaltar que este punto generalmente se enfoca en la cuestión del diseño estructural, sin embargo, el Ingeniero Estructuralista a cargo del dimensionamiento es quien posteriormente nos proporcionara la resistencia del concreto que debe contener el elemento a colar.

2.2.2. Calidad adecuada del concreto y de su capa exterior.

Una vez conocido la resistencia($f'c$) que se necesitara, lo más usual es acudir a una planta de concretos, en México generalmente utilizamos *CEMEX*[®] concreto, este procedimiento es recomendable para la construcción de edificaciones de dimensionamientos grandes, ya que cuentan con un mejor control de calidad en cuanto a la cantidad de agregado, el tipo de agregado (reciclado, volcánico, etc.), la cantidad de agua implementada etc.

En cuestión de edificaciones más pequeñas como podrían ser casa habitación, en zonas donde no se cuenta con una planta de concretos cercanas es recomendable diseñar una mezcla, este diseño se puede realizar por varios métodos pero el más usado es American Concrete Institute(ACI), aparte de ser uno de los métodos más utilizados, es muy fácil de utilizar, ya que encuentras manuales que te van especificando todas las características que tienen que cumplir los materiales que constituyen el diseño, así como su proporción.

Todo lo anteriormente mencionado es previo a la colocación del concreto en su sitio. Una vez que el concreto es transportado hasta el sitio de colocación antes de iniciar el colado, se

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

debe hacer una prueba rápida de revenimiento con el cono, una varilla punta de bala, un flexómetro y una base metálica. Esto es para comprobar que la mezcla cuente con las características que fue solicitado.

Posterior a que se verifíco lo anterior, se inicia la tercera etapa, el colado en sitio, donde se debe tener un estricto control de calidad al momento de la colocación del concreto en la cimbra, también cabe resaltar que se debe tener una coordinación en cuanto a los trabajadores y el Ingeniero encargado en obra, como es un proceso que se lleva demasiado rápido, se debe cuidar la vibración necesaria para evitar segregación del concreto.

2.2.3 Emplear un espesor de recubrimiento adecuado para proteger las armaduras.

El espesor del recubrimiento del elemento se verificará en las Norma Técnicas Complementarias de la Ciudad de México, donde depende de la resistencia a compresión especificada, y la clasificación de exposición que es encontrada en la Página 408 de las normas indicadas. Está clasificación depende de la superficie en contacto y el ambiente. Posterior a tener identificado el tipo de exposición vamos a la página posterior para definir en la tabla 4.9.1 el recubrimiento libre mínimo requerido.

La función del recubrimiento es proteger el acero de refuerzo que se encontrara sumergido en la capa de concreto.

2.2.4 Disposición de protecciones superficiales al estar ante ambientes sumamente agresivos.

Cuando hablamos de ambientes sumamente agresivos pensamos elementos que se encuentran las zonas costeras donde la exposición a las grandes cantidades de sal que presente diariamente, así como ciclos de humedecimiento y secado son los que más repercuten en daños a la estructura.

Así como las necesidades van creciendo con el tiempo, la tecnología va de la mano avanzando para crear nuevos productos, y alternativas que satisfagan estas necesidades. Tal es el caso que la planta de concreto más grande de México *CEMEX*[®] ha desarrollado una línea de cementos marinos, donde este evita la corrosión del acero de refuerzo ocasionado por la sal del agua de mar, el uso de este tipo de cemento, un recubrimiento especificado para está zona, es una combinación que nos ayudara a tener una protección en la estructura.

2.2.5 Disminución al máximo de la permeabilidad.

La permeabilidad depende de las características de los materiales que confirman el concreto, así como la compactación. Una excesiva compactación reducirá la permeabilidad al sellar los poros necesarios para la filtración del agua. (Aire, 2011)

Una de las medidas que podemos implementar para disminuir la permeabilidad en el concreto es disminuir la relación A/C.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

En el siguiente gráfico se puede observar como se comporta el paso del agua en diferentes relaciones A/C

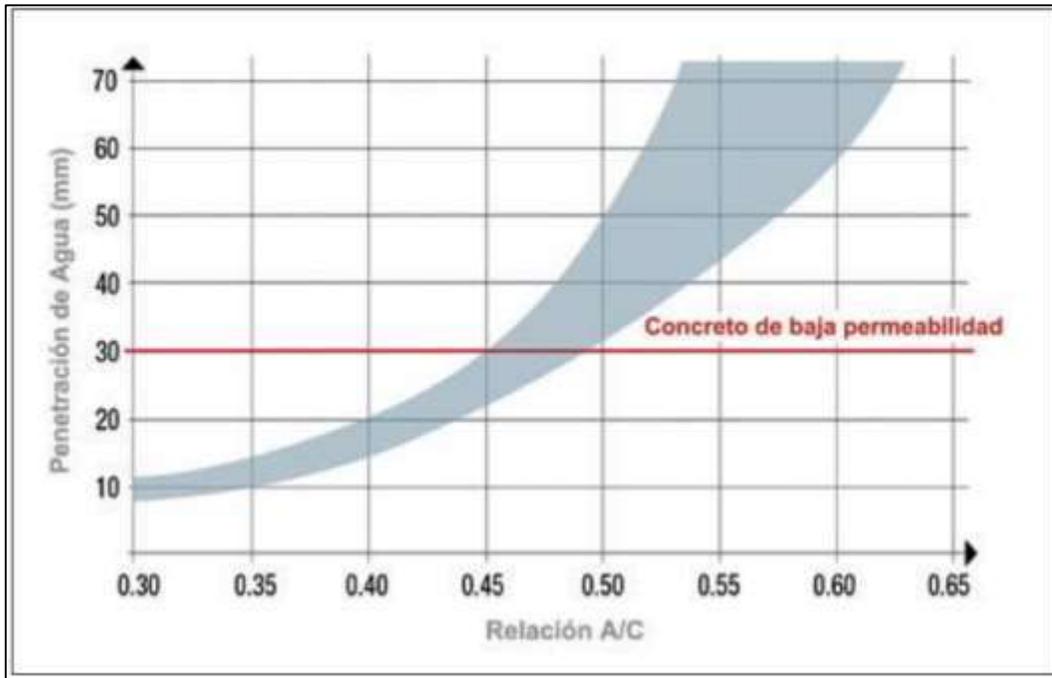


Figura 1.- Permeabilidad del concreto en diferentes relaciones A/C. (Hermida, 2013)

En la figura anterior podemos observar que mientras se mantenga la relación A/C inferior a 0.45, la permeabilidad del concreto va a ir disminuyendo. Abra casos en los que estas relaciones se puedan cumplir tal son:

Ambientes marinos bajo condiciones de exposición salobres, requiere una relación A/C de 0.45 como máxima. (Hermida, 2013)[12]

Así que si comparamos esta condición con el gráfico mostrado anteriormente podemos concluir que se puede implementar una relación A/C menor a 0.45 por lo que bajaría la permeabilidad, beneficiando a la estructura y al acero de refuerzo.

Otra alternativa que se puede implementar es el uso de aditivos impermeabilizantes.

Posterior a esto se realizó un ensayo de 8 muestras las cuales se midió la penetración del agua para diferentes relaciones A/C, 4 de las muestras eran sin el uso de impermeabilizante, las 4 muestras restantes se hicieron con el uso de impermeabilizante.

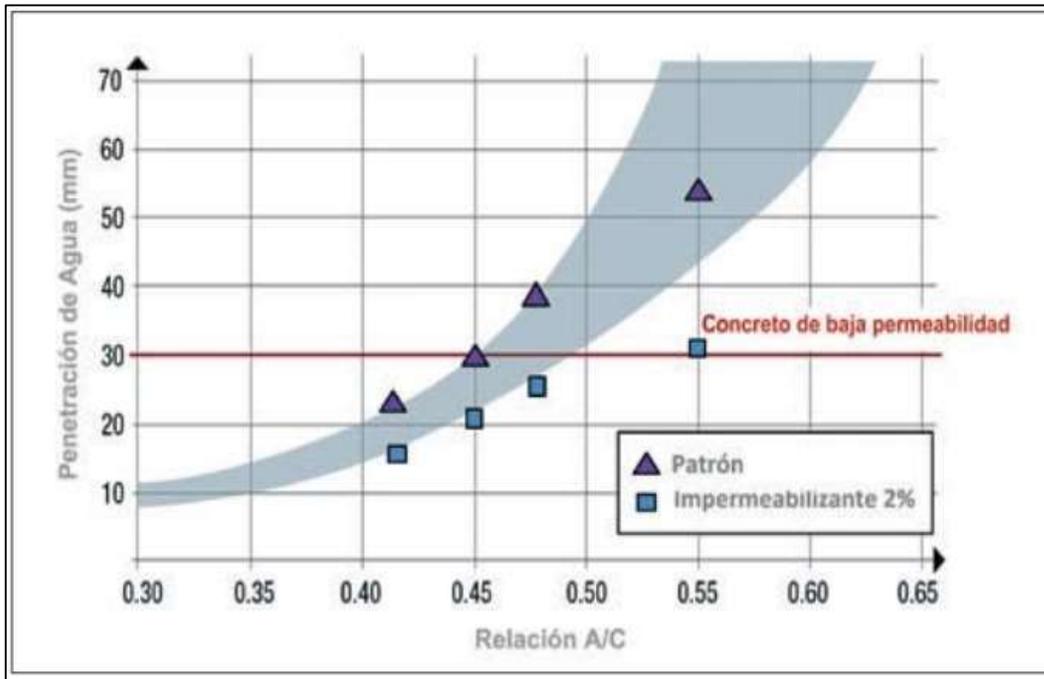


Figura 2.- Permeabilidad del concreto con diferentes relaciones A/C. Los triángulos son pruebas sin impermeabilizante, los rectángulos son muestras con impermeabilizante.

(Hermida, 2013)

Como se puede apreciar en la figura anterior el uso del aditivo impermeabilizante disminuye un cierto porcentaje de penetración del agua al interior del concreto.

Por lo cual podemos tomar como opción factible añadir un aditivo impermeabilizante a la mezcla y así podemos reducir la penetración del agua al interior del elemento.

2.3 DURABILIDAD EN EL CONCRETO REFORZADO.

Llamamos concreto reforzado a la combinación de concreto y acero de refuerzo en un mismo elemento. Esta unión se debe a que el concreto es un elemento que trabaja a compresión y tiene una baja o nula capacidad de trabajo a tensión, por otro lado, el acero es un elemento que tiene una buena capacidad de trabajo en tensión. Finalmente la unión de estos elementos nos brinda una mejor resistencia y seguridad, a la que ambos trabajarían de acuerdo a sus capacidades.

Dos de las principales causas que producen corrosión en las armaduras: a) carbonatación del concreto, esta es producida por la reacción de dióxido del carbono de la atmósfera con las sustancias alcalinas del cemento y b) presencia de iones de cloruro o producido por la penetración de componentes del exterior en ambientes marinos. (Barbuo & Borges, 2001)[7]

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Para garantizar una buena durabilidad es fundamental conocer los entornos que pueden afectar el concreto, el más común es el agua, ya sea pura, residuales, salinas etc., también podemos encontrar componentes en el aire, ya sea de manera natural como la humedad atmosférica o provenientes de procesos industriales y combustiones

Complementando un poco la anterior definición, hay que tomar en cuenta que las diferentes cargas a las que estará sometida la estructura, juegan un papel importante en su durabilidad, pero no es el único factor que afecta, se debe tomar en cuenta más variables, como anteriormente se menciona; factores a los que se encuentra expuesta, clima. La temperatura es otro factor que influye en la durabilidad, actúa como un acelerante que aumenta la velocidad de reacción.

Para determinar las causas que producen el daño en la estructura, es necesario realizar una investigación, la cual incluye:

1. Conocimiento previo, antecedentes e historial de la estructural, incluyendo cargas de diseño, el microclima que la rodea, el diseño de está, la vida útil estimada, el proceso constructivo, las condiciones actuales, el uso que recibe, la cronología de daños, etc.
2. Inspección visual que permita apreciar las condiciones reales de la estructura.
3. Auscultación de los elementos afectados, ya sea mediante mediciones de campo o pruebas no destructivas.
4. Verificación de aspectos de la mezcla de concreto que pueden ser importantes en el diagnostico, tales como la consistencia empelada; tamaño máximo real del agregado grueso empelado; contenido de aire; proceso de elaboración de los especímenes; procedimiento de determinación de las resistencias en compresión, flexión y tracción; verificación de características especiales o adicionales, según requerimientos.
5. Conocimiento del diseño y calculo de la estructura; los materiales empleados; las practicas constructivas; y los procedimientos de protección y curado; los cuales son factores determinantes del comportamiento de la estructura en el tiempo.
6. Conocimiento del tipo, cantidad y magnitud de los procesos de degradación de las armaduras de refuerzos, los cuales determinan, a través del tiempo, la resistencia, rigidez y permeabilidad de la estructura; recordando que sus condiciones superficiales influyen, y todo ello se refleja en su seguridad, funcionalidad, hermeticidad y apariencia; en suma, en comportamiento y vulnerabilidad.
7. Verificación que el acero de refuerzo cumpla con la resistencia requerida por el ingeniero estructural de acuerdo con las especificaciones indicadas con los planos y memoria de cálculo de las estructuras. Correspondiendo al ingeniero constructor y a la supervisión comprobar que se cumplan las normas correspondientes. (Arq. del Rosal, 2017) [6]

2.4 HISTORIA DEL CONCRETO.

El cemento surgió como una necesidad del hombre una vez que dejo atrás las cavernas y se dispuso a establecerse en un solo lugar.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Sin embargo, ha tenido diversos componentes a lo largo del tiempo. Alrededor del año 2,570 a.c, en Egipto se utilizaron mezclas de yesos y calizas disueltas en agua con la finalidad de conseguir una mezcla que no se disgregara con facilidad, esta mezcla fue utilizada para la construcción de la Gran Pirámide de Gizeh. (Vidaud, 2013)[30]

Para el siglo II a.c los romanos desarrollaron el cemento puzolánico que consistía en una mezcla de caliza calcinada con finas arenas o cenizas de origen volcánicas provenientes de la región de Puzzoli, localizada cerca del volcán Vesubio. Este cemento puzolánico fue empleado en la construcción del Coliseo Romano. (Vidaud, 2013)[30]

2.4.1 Cemento Romano.

En la antigüedad los Romanos utilizaban una mezcla de cal hidratada, arena, yeso y agua para sus primeras construcciones, posteriormente implementaron el uso de ceniza volcánica(puzolana), generando una mayor resistencia mecánica. Se estima que los romanos utilizaron este tipo de concreto desde el año 300 a.c hasta 476 d.c, por lo que se considera a los romanos, como los fundadores del concreto en ese entonces. Cabe mencionar que los romanos encontraron la manera de realizar construcciones en acuáticas en gran escala.

En estudios realizados se encontró que el concreto romano tenía una resistencia de 200kg/cm², sin embargo, debido a la ausencia del refuerzo, la resistencia a la tracción era más baja que la del concreto que hoy en día conocemos. Fue por eso que algunas construcciones no persistieron. (Torres) [25]

Sin embargo, existe evidencia que el Panteón de Roma, fue construido por el Opus Caementicium (Concreto Romano) el cual fue destruido por un incendio y posterior a este re construido en el año 120.

Se han hecho estudios comparando el concreto romano con el utilizado hoy en día y se ha encontrado que el concreto romano tiene mejores propiedades para ser utilizado en construcciones marinas. Se piensa que la resistencia y la larga duración se debe a la reacción al agua de mar con la mezcla de ceniza volcánica y la cal, creando así un mineral llamado tobermorita. Conforme se infiltraba el agua de mar en las grietas, esta reaccionaba con los minerales del grupo zeolita, encontrados en la roca volcánica, así mismo creando cristales aluminosos de tobermorita, lo que ayudaba a la duración de los materiales. (Torres) [25]



Figura 3.- Coliseo Romano, Roma Italia

https://historia.nationalgeographic.com.es/a/coliseo-roma_6685 (17/febrero/2022)



Figura 4.- Panteón de Roma, Roma Italia.

Fuente: https://viajes.nationalgeographic.com.es/a/secretos-panteon-roma_11000 (26/febrero/2022)

2.4.2 Cemento Egipcio.

Al año 2570 a.c, en Egipto se desarrollo una mezcla que permitía la unión entre los materiales, compuesto de yeso y calizas disueltos en agua. Está mezcla se utilizo para la construcción de la Gran Pirámide de Gizeh.

Al igual que los romanos, los griegos implementaron el uso de materiales productos de las erupciones volcánicas, el cual combinado con los demás, resultaba una mezcla con una resistencia aún mayor, tanto qué hoy en día aún siguen de pie las construcciones realizadas con está mezcla.



Figura 5.- Pirámide de Gizeh, Egipto.

Fuente: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/orientacion-piramides-gizeh_8498 (28/febrero/2022)

2.4.3 Cemento Mexicano

En las construcciones que los mayas realizaron, se han encontrado rastros que utilizaban la piedra caliza, el cementante que utilizaron era a base de cal.

El concreto, una mezcla de cemento con agregados, utilizado principalmente como material de relleno, un concreto tipo ciclópeo agregando piedras de diferente tamaño. (Ramirez de Alba, Perez Campos, & Díaz Coutiño, 1999) [21]

Cabe resaltar que los mayas contaban con hornos que no producían temperaturas mayores a los 900°C, por lo cual el cemento no tenia las características suficientes como se tiene hoy en día, sin embargo, investigaciones han arrojado que en la zona arqueológica de Yaxchilán se utilizo este cementante.



Figura 6.- Zona Arqueológica Yaxchilán Chiapas, México

Fuente: <https://aquinoticias.mx/reabrio-al-publico-la-zona-arqueologica-de-yaxchilan/> (3/Marzo/2022)

El 21 de octubre de 1824, Joseph Aspdin y James Parker patentaron el Cemento Portland, que era obtenido a partir de caliza arcillosa y carbón. En el año 1845 Isaac Johnson mejoro el proceso de producción, obteniendo la formación del Clinker. (Vidaud, 2013)[31] El Clinker es formado a partir de someter la caliza, arcilla, arena a temperaturas altas que oscilan entre los 1500 °C.

Finalmente podemos denominar que el concreto es una mezcla entre cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y agua, utilizado desde la antigüedad hasta nuestros días para la construcción de edificaciones, que hoy en día se han vuelto esenciales para el desarrollo de la sociedad y que nos brindan una seguridad.

Si bien sabemos el concreto es uno de las mezclas mas utilizadas alrededor del mundo, en la cual muchos investigadores han trabajado para encontrar una alternativa donde el concreto acompañado de otros agentes pueda tener algunas características favorables tal es como: un mejor desempeño al momento se su uso en edificaciones, reducción de costo de mantenimiento, y finalmente un concreto que sea amigable con el ambiente, no hay que olvidar que la producción del Clinker, como bien sabemos es el componente esencial para la elaboración del cemento, hablando de una manera general sobre la contaminación que emite está materia prima en la construcción tenemos que la producción de cemento en México genera más del 4% de las emisiones totales de equivalentes de dióxido de carbono, similar al promedio mundial. En el 2013 la producción de cemento en México liberó aproximadamente 20 millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, mientras que el uso de energía para su fabricación libero 9 millones de toneladas de dióxido de carbono. (Mors, 2018)[18]

2.4.4 Proceso de fabricación del cemento Portland

El cemento es uno de los materiales que desde su descubrimiento y su fabricación, se a utilizado, y entender su proceso de fabricación es esencial para futuras modificaciones.

1. Se obtienen las materias primas como lo son calizas, pizarras, arcillas y margas (materiales blandos).
2. Una vez que se extrajo las materias primas se deberá proceder a la trituration para posteriormente almacenarla y pre homogenizar, esto con la finalidad de tener un mejor proporcionamiento del material y usar el material de diversas características.
3. Molienda de crudo. Las materias primas se muelen con la finalidad de reducir su tamaño para una mejor cocción. Una vez que la materia prima queda como una especie de harina, está se almacena.
4. Clinker. Una vez que la materia prima es introducida en el horno, está será sometida a una temperatura de hasta 1500 °C, y así es como se da lugar al famoso Clinker.
5. Ya producido el Clinker, es retirado del horno, donde se introduce en un enfriador para reducir su temperatura.
6. Al Clinker se añade yeso y es molido mediante un molino de rodillos y de bolas, esto ayuda a que el Clinker se logre triturar hasta formar el polvo que comúnmente conocemos como cemento.
7. El cemento es almacenado y después será colocado en sacos para su distribución.

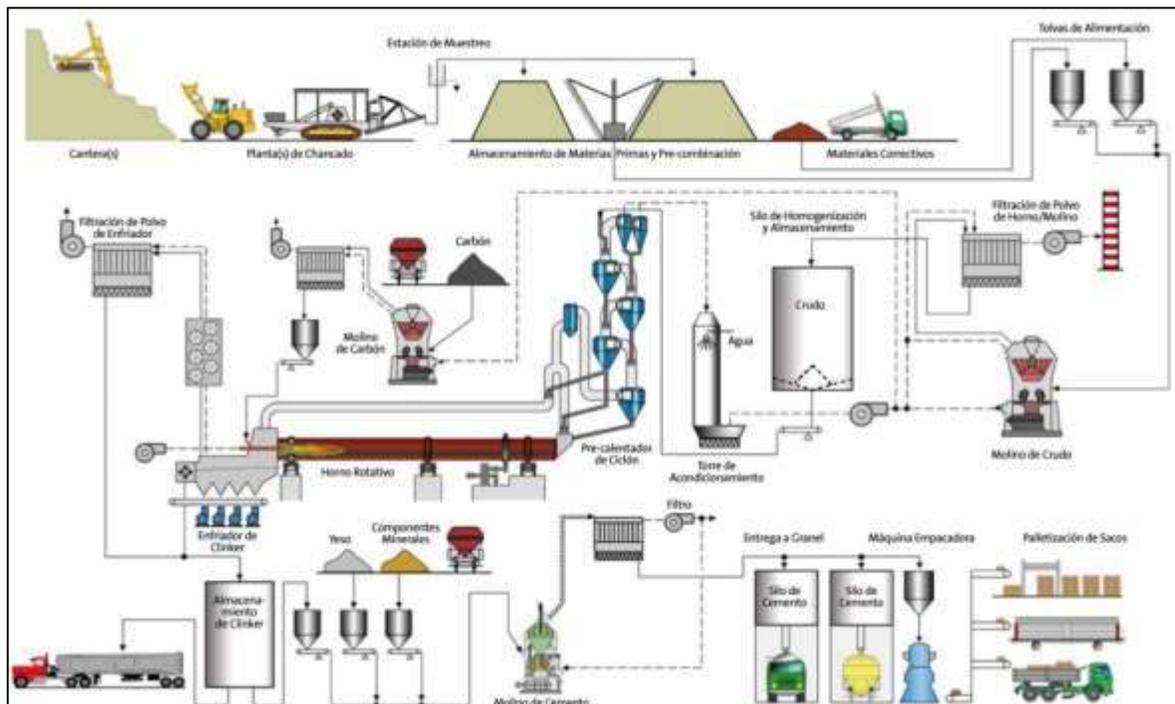


Figura 7.- Proceso de producción del cemento

Fuente:

<http://www.ficem.org/boletines/boletines2014/coprocesamientofebrero2014/PRESENTACIONES%20PRIMER%20DIA/04%20Produccion%20de%20Cemento.pdf>
(21/Agosto/2022)

2.4.5 Concreto sin cemento Portland

La necesidad de crear una mezcla sin concreto se debe a las emisiones de CO₂ que se genera debido al proceso de producción del concreto, estas emisiones han existido desde la primera producción que se llevo a cabo, lo que hoy en día importa, es que aparte de esas emisiones de gases junto con otros componentes de diversos factores, estas contribuyendo a la contaminación del medio ambiente, ya que el concreto es responsable del 8% de gases emitidos globalmente hacia la atmosfera, por está razón, hoy en día existe la necesidad de buscar soluciones que contribuyan a la reducción del CO₂ y que sigan beneficiando a la construcción, es por eso que en algunas partes del mundo se ha estado trabajando en encontrar la manera de producir un concreto sin cemento, pero que satisfaga las mismas condiciones que uno que lo implementara. Se han encontrado algunos investigadores e incluso una empresa Canadiense que logro producir un concreto sustituyendo el cemento Portland por escoria de acero.

En Canadá una empresa encontró la manera de reemplazar el cemento portland por escoria de acero, lo que ayuda al medio ambiente, ya que está combinación no genera emisiones de carbono.

El proceso es basado en mezclar escoria de acero con dióxido de carbono, y luego poner la mezcla bajo presión para ocasionar la reacción química. La reacción que se lleva a cabo es sin uso de fuentes de calor y su resultado es carbonato de calcio, ingrediente encontrado en la piedra caliza que se utiliza para producir el cemento. Además que la escoria de acero es producto de los desechos, y el dióxido de carbono necesario proviene de plantas industriales.(Macías, et al., 2019)[16]

La finalidad de crear un concreto donde no se implemente el cemento Portland, es reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y ayudar al calentamiento global. Aparte de las ventajas de ser amigable con el medio ambiente, se ha comprobado que este concreto presenta entre 30% y 40% más resistencia a la compresión.

Por otro lado investigadores de la universidad de Tokio investigaron un nuevo método de producir concreto sin el uso de cemento, incluyendo produciendo *trialcoxisilano*, a partir de la arena con ayuda de una reacción con alcohol y un catalizador que ayuda a eliminar el agua. Una vez que el agua cambia la reacción de la arena a *trialcoxisilano*, las partículas de arena se unen entre sí. Para el diseño de la resistencia mecánica, se colocó una lámina de cobre en un recipiente con arena, se variaron las condiciones de temperatura, cantidad de material, con la finalidad de encontrar condiciones adecuadas para obtener el producto lo suficientemente fuerte. Se cree que está nueva mezcla tenga una mayor durabilidad comparada con el concreto común. (Lamb, 2021)[1]

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO.

A lo largo del tiempo se ha visto que casi todas las construcciones están hechas de concreto, las mayorías de estas tienen una función importante en cuanto a su ocupación, es por esa razón que es fundamental que se tenga un cuidado extremo al momento de su construcción. La mayoría de los libros o manuales de construcción utilizan el término “*resistencia mecánica*”, pero ¿Qué es la resistencia mecánica?

Podemos definir como resistencia mecánica a la capacidad que tiene una estructura ya sea de concreto o de acero, de soportar las cargas a las que está sometida, sin presentar daño alguno. Hablando específicamente del concreto, se puede englobar dentro de la misma definición. Es necesario conocer la resistencia del concreto en estructuras nuevas o existentes, esto se debe que en algunas de las ocasiones no se tiene el control de calidad adecuado y puede repercutir en la resistencia del concreto o bien al momento de realizar una revisión de una estructura ya existente.

Es por eso que a continuación se presentan algunos de los métodos de pruebas que pueden implementarse:

- 1.- Resistencia a la penetración
- 2.- Velocidad de pulso ultrasónico
- 3.- Cilindro colado en obra
- 4.- Madurez
- 5.- Extracción
- 6.- Número de rebote

3.1 Resistencia a la penetración.

Este método se encuentra normado por ASTM C 803. Tiene como finalidad medir la resistencia por medio de una probeta que es introducida en el concreto una vez que se ha endurecido.

De acuerdo al grado de penetración que se tenga, es la resistencia del concreto.

En general las grietas en la zona de fractura ocurrirán a través de las partículas del agregado grueso. Determinando que las propiedades de resistencia, tanto del mortero como de los agregados gruesos, influyen en la profundidad de la penetración. Una característica importante de esta prueba, es que el tipo de agregado grueso afecta mucho la relación entre la resistencia del concreto y la penetración de la sonda. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C, 2002)[14]

Por lo que es recomendable que esta prueba se realice en concretos donde se utilizó un agregado suave, ya que la penetración de la clavija no se llevara de manera adecuada y los resultados que arrojen podrían no ser del todo verídicos.

3.2 Velocidad de pulso ultrasónico.

Descrito en la norma ASTM C 59. Este método determina la velocidad de propagación que tiene un pulso de energía a lo largo de un elemento de concreto. A medida que la resistencia a la compresión vaya aumentando, se presentara una disminución más pequeña en la velocidad de propagación. Es decir que si la velocidad de propagación resulta pequeña, podemos deducir que la resistencia es mayor. Por otro lado se ha llegado a la conclusión de que la velocidad de propagación es influenciada por el proceso de curado, así como la presencia de grietas y huecos a lo largo del trayecto donde pasa la onda.



Figura 8.- Proceso de medición de la propagación de la velocidad de la energía a través del concreto.

Fuente: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/pulso-ultrasonico-en-el-concreto>
(17/febrero/2022)

3.3 Cilindro colado en obra

Descrito en la norma ASTM C 873. Este método consiste en obtener muestras cilíndricas una vez que se coló en la obra, con la finalidad que el cilindro haya estado bajo las mismas condiciones que el elemento colado en sitio, así el resultado podría acercarse más a la realidad. Una vez que se tiene el cilindro, este es cabeceado, para que tenga una superficie uniforme y la distribución de la carga de igual en todos los sentidos, después es sometido a compresión, para determinar su resistencia. En el caso que la relación longitud-diámetro sea menor a dos, la resistencia será corregida por los factores de la norma ASTM C 42.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 9.- Cilindros colados en obra, cubiertos en la parte superior de plástico, para conservar humedad. (20/enero/2022)



Figura 10.- Cilindro cabeceado con azufre, listo para ser probado por compresión. (17/febrero/2022)

3.4 Método de madurez

Descrito en la norma ASTM C 1074.

Este método es basado en función a la temperatura y la resistencia mecánica. Se realiza una suposición que la mezcla tendrá la misma resistencia una vez que tenga el mismo índice de madurez.

La temperatura del concreto en obra es monitoreada de manera continua, y a partir de los datos obtenidos es que se calcula el índice de madurez de la obra. Una vez conociendo el índice de madurez en el sitio y la resistencia-madurez, puede estimarse la resistencia de la estructura mediante la siguiente expresión: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C, 2002)

$$M(t) = \sum(T_a - T_o)\Delta t \quad (3.1)$$

Donde:

$M(t)$ = Factor temperatura-tiempo(grados-día, o grados-hora)

Δt = Intervalo de tiempo

T_a = Temperatura media del concreto durante el intervalo de tiempo

T_o = Temperatura de referencia = -10°C

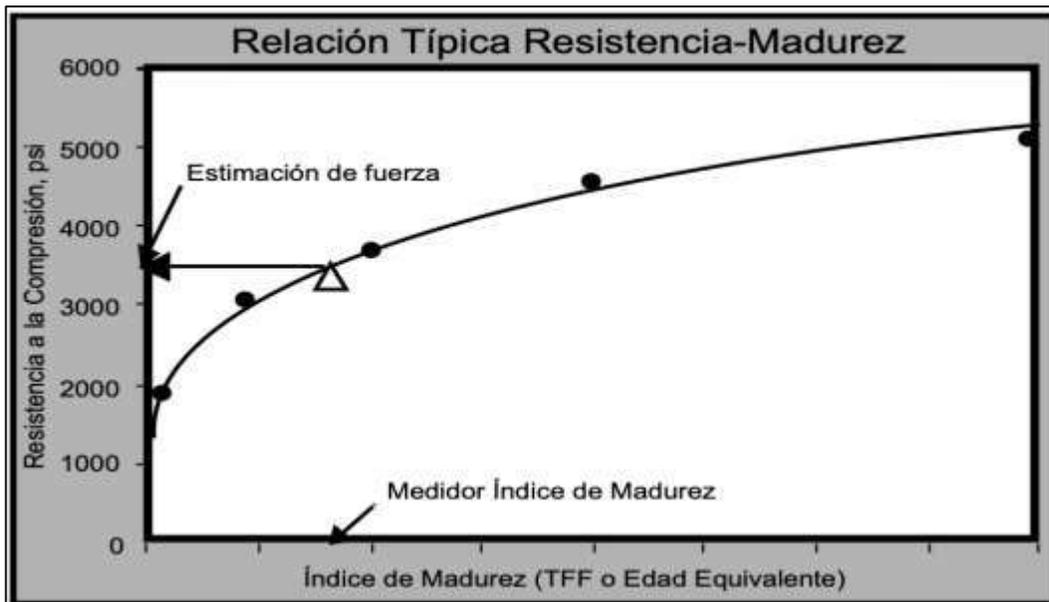


Figura 11.- Curva relación madurez-resistencia a la compresión.

Fuente: <https://concretesupplyco.com/wpcontent/uploads/2017/01/38pes.pdf> (17/febrero/2022)

3.5 Método de extracción

Descrito en la norma ASTM C 900.

Esta prueba consiste en extraer muestra de concreto de una estructura, a dicha muestra se le conoce como corazón. Midiendo la fuerza que se requiere para extraer el corazón, observando que con forme este cerca del borde superior de la cabeza del inserto, los esfuerzos son mayores. Este método tiene como limitante, que solo puede ser empleado en construcciones nuevas, por lo que es imposible utilizarlo en construcciones ya existentes.



Figura 12.- Proceso de extracción del corazón, en una estructura de concreto.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v= bJGVMEADmo> (17/febrero/2022)

3.6 Método de rebote

Descrito en la norma ASTM C 805

Este método tiene como finalidad medir el número de rebotes mediante un martillo denominado *martillo Schmidt*. Se recomienda que todas las pruebas sean realizadas con el mismo martillo para evitar variaciones en los resultados. La zona de prueba no deberá presentar porosidad ni carbonatación, ya que esto aumentaría los números de rebote, deberá cumplir al menos 6 pulgadas de diámetro y deberá ser limpiada por si existe mortero suelto en su superficie.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

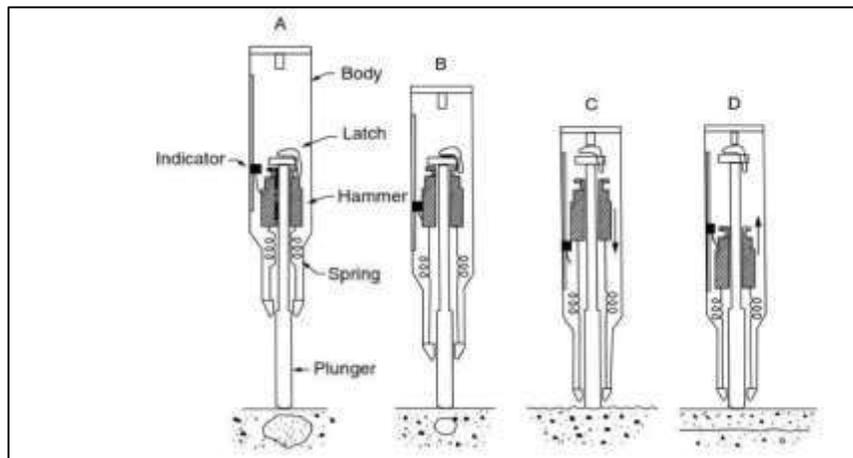


Figura 13.- Descripción del funcionamiento del martillo Schmidt.

(Reyes, C, & N, 2017), (17/febrero/2022)

CAPÍTULO IV

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

4.MÉTODOS Y TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

Al momento de diseñar una estructura se busca que durante su vida útil no sufra alteraciones que impidan su uso, siempre y cuando hablemos del diseño y proceso de construcción. Sin embargo el deterioro químico, el medio marino, abrasión, desgaste, fenómenos naturales etc.

4.1 Rehabilitación de estructuras vulnerables a sismos.

Principalmente se debe realizar una evaluación sísmica previa una vez que se tienen estos resultados se debe seleccionar el método de rehabilitación. De acuerdo a las necesidades que se debe de cumplir de acuerdo a cada estructura son las técnicas a adoptar.

4.1.1 Técnicas para el incremento de resistencia y rigidez:

- 1.- Adición/relleno con muros de cortante sobre/dentro de marcos existentes.
- 2.- Adición/relleno con elementos metálicos (marcos, paneles) sobre/dentro de marcos existentes.

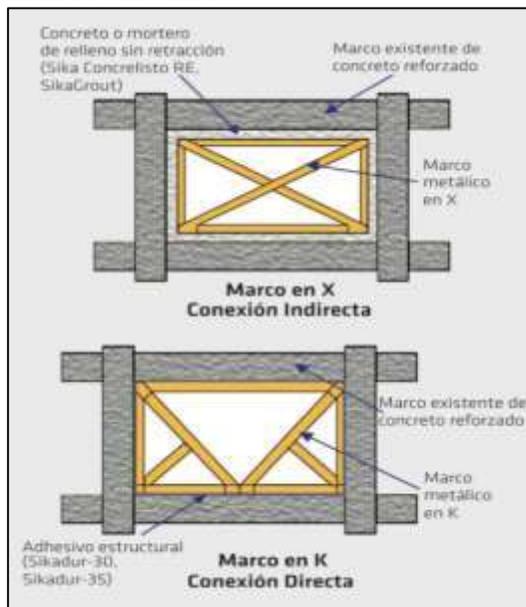


Figura 14.- Reforzamiento con marco metálico (19/Marzo/2022), Sika®

- 3.- Muros laterales o alas a columnas existentes
- 4.- Contrafuertes en la estructura
- 5.- Engrosamiento o ensanchamiento de elementos.
- 6.- Colocación de cables tensados externos de acero Sika®

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

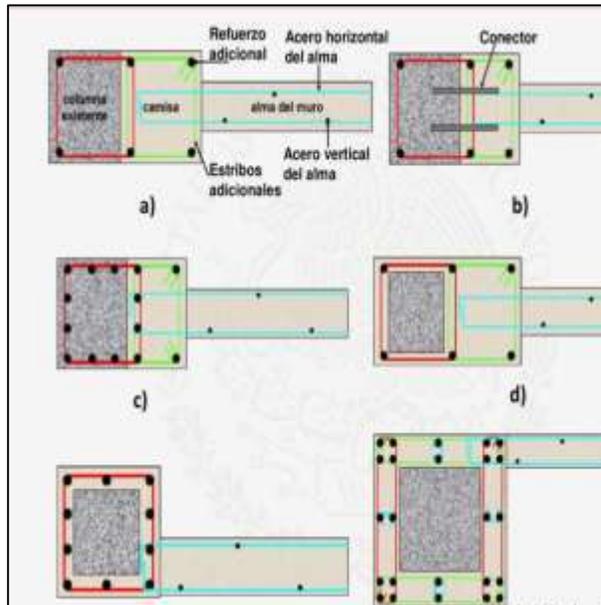


Figura 15.- Envoltente de concreto y muro lateral en columna existente.

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/14029633/> (19/Marzo/2022)

4.1.2 Técnicas para incrementar la capacidad de deformación o ductilidad.

1.- Envoltente con malla de acero y concreto o mortero de protección



Figura 16.- Envoltente con malla de acero.

Fuente: <https://es.horseen.com/producto/sistema-de-epoxi-para-acero/adhesivo-de-revestimiento-de-acero> (19/Marzo/2022)

2.- Envoltura con ángulos y platinas de acero (relleno, adheridas) (Sika, 2017)

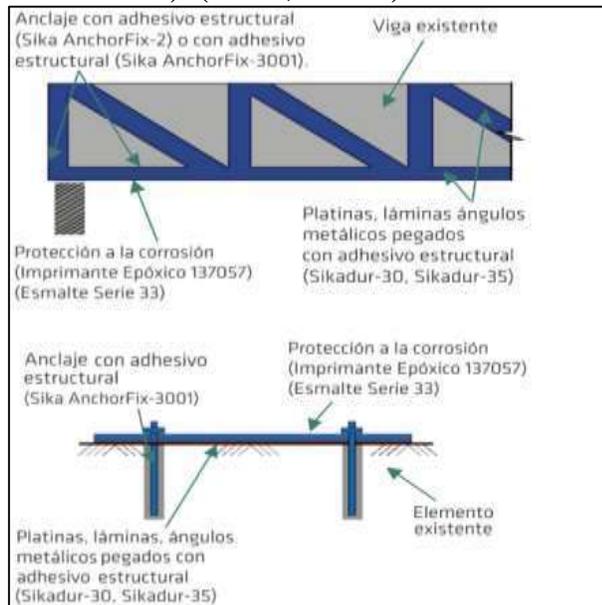


Figura 17.- Envoltura con ángulos y platinas de acero. (19/Marzo/2022), Sika®

4.2 Envoltura de concreto reforzado.

Se le denomina como envoltura de concreto reforzado al procedimiento de reforzar una estructura que ha sufrido cambios en su capacidad de resistencia.

4.2.1 Proceso de reforzamiento a una columna mediante envoltura de concreto reforzado.

Una vez que se tiene designada la columna, se procederá a asegurar la zona alrededor de ella, colocando apuntalamientos en la losa, posterior a esto se retirará el concreto de la columna hasta dejar expuesto el armado existente, así como se excavará la parte inferior hasta encontrar la parte superior de la zapata. Ya expuesto el armado de la columna se limpiará hasta retirar el óxido existente.

Se realizará perforaciones en la base de la columna donde se introducirá el nuevo refuerzo, donde se colocarán también los estribos. En la columna existente se colocará un adherente que mejore la unión entre la columna existente y el refuerzo que se le aplicará.

Una vez listo el armado se procederá al encofrado de la estructura, para añadir el concreto.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 18.- Columna con refuerzo expuesto, para proceso de reforzamiento. (19/Marzo/2022)

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=0bBAwx6IR10>

Una vez fraguado el concreto se retirará el encofrado, se rellenará la parte inferior producto de la excavación, a la columna reforzada se le aplica un revestimiento anti carbonatación, esto para proteger la estructura, y finalmente se retira el apuntalamiento.



Figura 19.-Encofrado de columna.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=0bBAwx6IR10> (19/Marzo/2022)

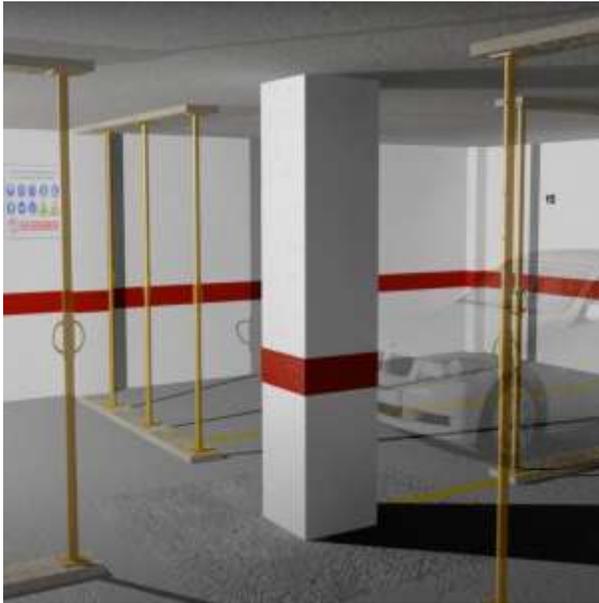


Figura 20.- Rehabilitación de columna con envolvente de concreto reforzado.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=0bBAwx6IR10> (19/Marzo/2022)

4.3 Reparación de grietas en estructuras de concreto por inyección de resinas epóxicas.

Las resinas epóxicas es una adherente que es el resultado entre el polímero y un catalizador, al cual también se le puede añadir otros componentes que ayuden a modificar su resultad.

Su aplicación en reparación estructurales son:

- 1.- Reparación de grietas en el concreto por inyección
- 2.- Unión del nuevo concreto con el existente para reparar estructuras ya dañadas
- 3.- Unión de bandas metálicas de acero en refuerzos en concreto estructural
- 4.- Protección en revestimientos de superficiales (Victor, 2031)

Aún cuando el uso de las resinas epóxicas es después de la aparición de grietas, aunque se ha encontrado estudios donde se implementa el uso de la resina dentro del diseño de concreto buscando que se tenga una resistencia mecánica alta y una mejor respuesta ante el agrietamiento.

4.3.1 *¿Qué causan las fisuras?*

Cuando tenemos una estructura nueva se puede presentar fisuras debido a la falta de curado, un mal descimbrado. De otra manera cuando tenemos estructuras ya existentes puede deberse a un fenómeno natural como son los sismos, un aumento de cargas de diseño o bien un mal diseño en cuanto a la proporción de la estructura respecto a las cargas de servicio que van actuar sobre de.



Figura 21.- Fisura en muro producida por el sismo de marzo 2017. (26/Marzo/2022)

4.3.2 *Tipo de fisuras.*

Dependiendo el tipo de fisura que se presente será el método y material a utilizar para su rehabilitación.

Fisuras superficiales, profundas, activas, inactivas

1.- Fisuras superficiales. Denominamos fisuras superficiales aquellas fisuras que solo afectan estéticamente la construcción, pero no afectan el refuerzo de acero.

2.- Fisuras profundas. Este tipo se presenta cuando existe un movimiento en el suelo y puede afectar tanto el refuerzo de acero dejando pasar agentes químicos externos al interior de la estructura o bien puede afectar su rigidez.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Sabiendo lo anterior, es importante tener en cuenta que dependiendo el tipo de fisura que tengamos variaran sus condiciones para ser o no selladas.

De manera general las fisuras deberán tener un ancho mínimo de 0.15mm y un ancho máximo de 6mm, el ancho de la fisura determinara el material que se utilizara para su relleno; En fisuras que van hasta los 6mm se puede implementar el uso de inyección de resinas epóxicas.

3.- Fisuras activas o pasivas. Está clasificación de fisuras es dependiendo si tiene movimiento es decir cambio de dimensión en su longitud, en este caso se requiere utilizar materiales más flexibles que proporcionen elasticidad. En las fisuras pasivas, es decir que no presentan movimiento, se utilizaría resinas rígidas.

Por otro aunque exista información adicional de la clasificación de fisuras es recomendable que se verifiquen sus características en el ACI, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1.- Anchos razonables para concreto reforzado bajo cargas de servicio.

Exposure condition	Crack width	
	in.	mm
Dry air or protective membrane	0.016	0.41
Humidity, moist air, soil	0.012	0.30
Deicing chemicals	0.007	0.18
Seawater and seawater spray, wetting and drying	0.006	0.15
Water-retaining structures [†]	0.004	0.10

* It should be expected that a portion of the cracks in the structure will exceed these values. With time, a significant portion can exceed these values. These are general guidelines for design to be used in conjunction with sound engineering judgement.
† Excluding nonpressure pipes.

https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/224R_01Ch3.pdf (26/marzo/2022)

4.4 Métodos de inyección de resina epóxicas en grietas.

- 1.- Se deberá limpiar la grieta con un cepillo de alambre para remover los excedentes de polvo y otros materiales incrustados en la grieta.
- 2.- Limpieza de la grieta mediante aire comprimido
- 3.- Se colocaran los puertos de inyección por donde ingresara la resina epóxicas.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 22.- Limpieza de grieta con cepillo de alambre.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=tgZ3D8bO3PA> (27/Marzo/2022)



Figura 23.- Puertos de inyección. (27/Marzo/2022)

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32824769057.html>

4.- Se prepara una mezcla de mortero epóxico que será colocado a lo largo de la superficie de la grieta incluyendo los puertos de inyección.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 24.- Puerto de inyección colocado con mortero epóxico. (27/Marzo/2022)

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=tgZ3D8bO3PA>



Figura 25.- Limpieza de grieta con aire comprimido.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=tgZ3D8bO3PA> (27/Marzo/2022)

- 5.- Una vez sellada la grieta se limpiara su interior con aire comprimido.
- 6.- Posterior a la limpieza, se conectaran a los puerto de inyección las mangueras por donde viajara la resina hasta llegar a su destino.
- 7.- Se sellaran los puertos una vez que la resina salga por estos orificios comprobaremos que se inyectó el total de la grieta.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

8.- Se retiraran los puertos de inyección y el mortero epóxico colocado en la superficie



Figura 26.- Inyección de resina epóxica.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=tgZ3D8bO3PA> (27/Marzo/2022)



Figura 27.- Sellado de puertos.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=tgZ3D8bO3PA> (27/Marzo/2022)



Figura 28.- Grieta sellada con resina epóxica.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=tgZ3D8bO3PA> (27/Marzo/2022)

4.5 MATERIALES COMPUESTOS PARA REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO.

4.5.1 Fibras de carbono.

El reforzamiento mediante fibras de carbono, consiste en incorporar en la estructura fibras de alta resistencia y una matriz, tal que ambas conserven su integridad física y química. (Moncayo Theurer, et al., 2016)[17]

La mayoría de estructuras que son habilitadas con fibra de carbono presenta un alto porcentaje de resistencia ante esfuerzos de tensión, entre otras ventajas que presenta es que es muy ligera.

Existen dos tipos de trenzados el *roving* y el llamado *heavy roving*, esto de acuerdo a la cantidad de filamentos que componen la placa de fibra de carbono. El tipo que más se utiliza en la industria de la construcción es el *heavy roving*, ya que en el intervienen 400,000 filamentos lo que brinda una mayor resistencia mecánica. . (Moncayo Theurer, et al., 2016)[17]



Figura 29.- Placa de fibra de carbono.

Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/4000580756323.html> (01/Abril/2022)



Figura 30.- Rehabilitación de estructura de concreto, utilizando fibra de carbono.

Fuente: <https://www.refuerzofibradecarbono.com> (01/Abril/2022)

4.5.2 Fibras de vidrio.

Son las fibras más utilizadas dado su bajo costo respecto a las de carbono, sin embargo es menos resistente comparada con la anterior. Este material suplementario surge con la necesidad de aumentar la resistencia mecánica del concreto pero a un costo accesible. De acuerdo a las investigaciones realizadas se obtuvo que para lograr la fabricación de la fibra de vidrio es necesario utilizar vidrios que contengan circonio ya que es un elemento químico que presenta alta resistencia al ataque alcalino

4.5.2.1 Fabricación de las fibras de vidrio.

1.- Se mezclan las materias primas ya molidas , arena, carbonato de sodio, piedra caliza y cristal reciclado, donde es introducida en el horno a una temperatura aproximada de 1550°C, a está mezcla se le

denomina *vitrificante* (Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezcla de concreto, 2013)[13]

2.- Una vez que el vidrio en estado líquido sale del horno, se debe pasar por un elemento llamado hilera que le proporciona la forma de hilo al vidrio, ahí mantiene una temperatura aproximada de 1250°C, una vez frio se obtienen los filamentos de entre 14 micras y 20 micras de diámetro. Después de esto se agrega un compuesto denominado ensimaje, con la finalidad de proporcionar las propiedades mecánicas que se requiere. (Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezcla de concreto, 2013)[13]

3.- Ya lista la fibra, pasara a ser embobinada y posterior a ser secada, una vez cumplido esto se pone a disposición en el mercado, para su venta.



Figura 31.- Fibra de vidrio.

Fuente: <https://www.motorex.com.pe/blog/propiedades-usos-fibra-vidrio/> (02/Abril/2022)

4.6 Resina poliéster

La resina poliéster es un polímero termoendurecible que es posible cambiar del estado líquido al sólido en las resinas pre-aceleradas, ya que se les añade un catalizador. Dentro de las resinas poliéster podemos encontrar dos tipos:

4.6.1 Resina poliéster ortoftálticas

Estas pueden ser usadas en ambientes no agresivos, debido a que presenta menor resistencia al agua, sin embargo, en combinación con la fibra de vidrio se puede llegar a obtener una buena resistencia mecánica.

4.6.2 Resina poliéster isoftálticas

Este tipo de resina puede ofrecer ventajas al ser utilizada en ambientes en contacto con el agua, resistencia a la corrosión, y aporta buena resistencia mecánica.



Figura 32.- Resina poliéster

Fuente: https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html (03/Mayo/2022)

CAPÍTULO V

CONCRETOS AUTO-REPARABLES

5.1 CONCRETOS FUNCIONALES O INTELIGENTES.

Con la innovación de los concretos ya existentes o con la invención de unos nuevos se busca que cada día vaya mejorando y vaya adaptándose con mayor facilidad a las necesidades del constructor. Cabe mencionar que una vez que estas innovaciones salen al mercado, son las grandes empresas las que se benefician mayormente de estos avances, ¿Cuál es el motivo?, en las grandes obras de edificaciones se invierten grandes sumas de dinero que a lo largo del tiempo este dinero se va remunerando, pero que es lo que pasa, llega un concreto nuevo que aporta mejores características, obviamente más elevado pero que a un largo plazo les dejara ganancias. Debido a que el concreto es expuesto a la intemperie y este puede sufrir alteraciones en las que encontramos comúnmente las fisuras, o daños provocados por el agua, que como bien sabemos el agua en exceso es mala para la calidad de nuestro concreto. Es por ello que algunos investigadores se preocupan por esto, y empiezan a buscar alguna alternativa, dentro de las cuales se encuentra los denominados “concretos funcionales o inteligentes”.

Son denominados concretos inteligentes, aquellos que tienen la capacidad de auto-protegerse así mismo o que permiten ser monitoreados por medio de sensores. Se considera que es posible el monitoreo de la salud de la estructura de concreto utilizando sensores de fibra óptica integrados a está. Los sensores monitorean la estructura emitiendo señales de alerta si se excediera el límite de carga permisible o si la estructura se acercara al colapso. El especialista afirma que: “Los sensores nos permitirían actuar conjuntamente con la estructura y así tomar las medidas correctoras necesarias ante fenómenos por ejemplo la corrosión”. Los sensores son capaces de detectar el agrietamiento y pueden advertir determinados cambios en las características físicas del material deterioros o perdidas de resistencia. Los estas beneficios, los especialistas tendrán tiempo suficiente para actuar de manera correcta, sin poner en peligro la integridad estructural. (Vidaud E. d., 2014) [30]

5.2 CONCRETO AUTO-REPARABLE USANDO BACTERIAS.

El concreto es uno de los materiales más usado en la construcción desde la antigüedad, a lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes tipos de concretos para fines específicos.

La función que desempeña el concreto debe ser de larga duración, para que se desarrolle su máxima resistencia es importante, que una vez fraguado el concreto se coloque más agua hasta completar el proceso de hidratación, comúnmente conocido como curado. Cabe mencionar que si no se lleva adecuadamente el proceso de curado el concreto no alcanzara su resistencia adecuada.

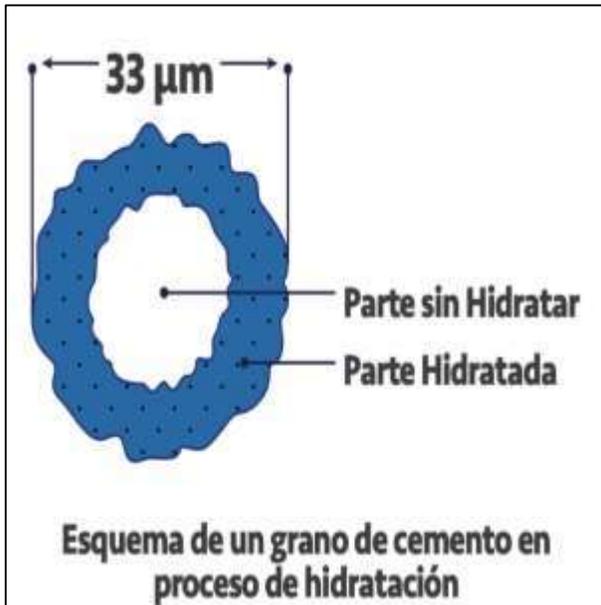


Figura 33.- Hidratación de la partícula de cemento.

Fuente: <https://www.toxement.com.co/media/3391/gui-a-ba-sica-para-el-curado-concreto.pdf>



Figura 34.- Fisura en el concreto debido a la pérdida de agua en la superficie.

Fuente: <https://www.toxement.com.co/media/3391/gui-a-ba-sica-para-el-curado-concreto.pdf>

Debido a que el concreto puede presentar fisuras las cuales son uno de los problemas más comunes y que pueden dañar el interior del concreto, ya que queda expuesto a agentes agresivos. Gracias a esto fue que surgió la idea de inventar un concreto que fuera auto-reparable, con la finalidad de reducir los costos de mantenimiento que se producen al rellenar las fisuras causadas a lo largo del tiempo. El microbiólogo Henk Jonkers, de la Universidad Tecnológica de Delf ubicada en Países Bajos, desarrollo un bio-concreto capaz de auto repararse. (Echegaray, Rojas, & Eddie, 2015) [9]

5.2.1 Micro-bacteria

El desarrollo de este concreto partió de la idea que el cuerpo humano es capaz de regenerar tejido óseo por medio de la mineralización, Jonkers basándose en esa idea desarrollo un concreto con bacterias encapsuladas que producen piedra caliza, la cual es la clave para el sellado de las grietas. La bacteria en cuestión tendría que cumplir con ciertos requerimientos para poder ser utilizada; soportar las reacciones químicas, las condiciones a las que está sometido el concreto, deberá sobrevivir sin oxígeno, y sobre todo deberá ser duradera. Una especie como *Bacillus* puede soportar el entorno extremo del concreto, éstas tienen una membrana más gruesa en comparación a otros grupos de microorganismos, misma que les da la capacidad de sobrevivir a radiaciones ultravioletas, esta bacteria podría durar hasta 200 años en el concreto. (Cuadros, 2018) [3]

La producción de piedra caliza es el resultado de la digestión de la bacteria, por ende, debe tener alimentación, eligiendo el lactato de calcio, se colocó junto con las bacterias en cápsulas hechas con plástico biodegradable y se añadió las cápsulas a la mezcla húmeda del concreto. (Quintana, 2015) [20]

Una vez que se presentan grietas en la estructura, el interior queda expuesto, por consiguiente, las moléculas de H_2O que ingresan en el interior activan a las bacterias que se encuentran en la superficie expuesta.

Las fisuras se podrán reparar de hasta 8 mm de ancho y desde centímetros hasta kilómetros de largo, el proceso total auto-curación se llevará a cabo hasta 3 semanas.

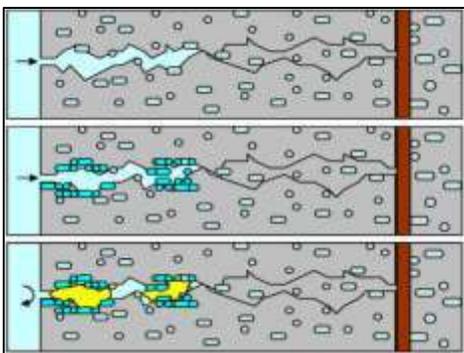


Figura 35.- Proceso de auto-curación por medio de bacterias.

Fuente: (Cuadros, 2018) (19/Mayo/2021)

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE UN CASO EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO REHABILITADO CON RESINA POLIÉSTER-ESTIRENO Y DEL COMPUESTO POLIÉSTER-ESTIRENO REFORZADO CON FIBRAS DE CARBONO

6.1 CONCRETOS LIGEROS.

Podemos definir como concreto ligero, aquel concreto que tiene un peso volumétrico en estado fresco menor a 1900 kgs/m³, utilizando para su elaboración agregados ligeros a base de esferas de poliestireno.

Aún cuando se piensa que los concretos ligeros se empezaron a implementar en la época actual, hay indicios donde hace referencia que los Romanos fueron los primeros que utilizaron este sistema para la construcción de la cúpula del panteón de Roma en el 200 D.C, utilizando piedra pómez para lograr la ligereza.

Hoy en día para lograr un concreto ligero se busca que el agregado grueso sea liviano esto se da debido a la estructura porosa que se encuentra en ellos.

6.1.2 Función de los concretos ligeros.

El uso del concreto ligero ayuda a reducir la carga muerta de una estructura de concreto, que permite reducir el tamaño de columnas, zapatas y otros elementos estructurales. Teniendo como ventajas que el costo se ve recompensando con la reducción en el tamaño de los elementos estructurales, como menor cantidad en el acero de refuerzo. Considerando que las estructuras hechas con concretos ligeros presentan una resistencia mayor al fuego. (Liviano, 2020)[2]

6.2 AGREGADOS LIGEROS.

El agregado ligero es el nombre genérico de un grupo de agregados que tienen una densidad relativa más baja que los agregados de densidad normal. (Expanded Shale, ESCSI, n.d.)[10]

6.2.1 Agregados naturales.

Los agregados ligeros se producen a partir de piedra pómez, vermiculita y perlita, su finalidad es seguir aportándole resistencia al concreto pero adicional a esto, aportándole una ligereza.

El agregado grueso liviano de manera natural, es decir dado en bancos de materiales sin la intervención de algún proceso por ejemplo el agregado grueso volcánico, que es muy poroso y liviano, que a su vez permite que al implementarlo con el concreto este también sea ligero. Cuando no es posible obtener el agregado grueso ligero de manera natural deberá pasar por el proceso de trituración y el horno rotatorio donde oscila a temperaturas de 1200°C donde los compuestos carbonosos del material forman burbujas, después es transportado por bandas donde es enfriado por aire así obteniendo un material poroso.

Tomando en cuenta que cualquier agregado que se utilizara para un concreto ligero estructural debe cumplir los requerimientos de la ASTM C 330 donde la densidad aparente

debe ser menor que 1120 kg/m³ para agregados finos y menor que 880 kg/m³ para agregado grueso.



Figura 36.- Apariencia de un agregado grueso ligero.

Fuente: <https://i0.wp.com/theconstructor.org/wpcontent/uploads/2014/03/lwc.png?fit=1067%2C870&ssl=1> (19/Abril/2022)

6.2.1.1 Perlita

La perlita es un agregado mineral volcánico que es producida a partir del enfriamiento de la lava volcánica. Del 2% al 6% en su estructura química es compuesta de agua que se puede evaporar a una temperatura de entre 900 a 1100°

El uso de la perlita puede darse como un agregado grueso y/o fino en concretos implementando el cemento portland, agua y un aditivo que incorpora aire, produciendo así un material ligero que puede ser implementado en estructuras que necesiten tener bajo peso propio, además de que la perlita es conocida como un material aislante térmico, por lo que es otra propiedad que nos brinda.



Figura 37.- Perlita expandida.

Fuente: <https://www.tratecni.com/product/perlita-expandida/> (21/Abril/2022)

6.2.1.2 Piedra Pómez o pumicita

Considerado un agregado ligero de origen natural ígneo que debido al enfriamiento rápido es el resultado de su estructura porosa. Comparando entre el concreto estándar y el concreto con piedra pómez, este presenta una reducción del peso de alrededor 1/3 del valor del concreto estándar.



Figura 38.- Piedra Pómez

Fuente: https://es.123rf.com/photo_62949967_fotograf%C3%ADa-macro-de-muestras-de-rocas-%C3%ADgneas-mineral-de-piedra-p%C3%B3mez-natural-de-color-marr%C3%B3n-aislado-en-el-fon.html (22/Abril/2022)

6.3 AGREGADOS SINTÉTICOS

Se define como agregados sintéticos al proceso de transformación de materiales procedentes de manera natural, que se someterán a un proceso para poder implementarse en el uso del concreto.

Dentro de los agregados sintéticos tenemos:

6.3.1 Ceniza volante

La ceniza volante es un material fino producto de la combustión del carbón proveniente de las plantas generadoras de electricidad. A finalidad de utilizar este material dentro de la mezcla del concreto es para reducir el porcentaje de cemento y por consiguiente tener una resistencia a compresión mejorada, además de esta propiedad, adicionalmente nos puede brindar mayor trabajabilidad, impermeabilidad, durabilidad y la más importante resistencia a los sulfatos.

La forma esférica y la distribución del tamaño de las partículas mejoran la fluidez, reduciendo la demanda de agua en la mezcla y contribuyendo a un aumento a la resistencia a largo plazo. Adicionalmente se ha comprobado que se muestra un aumento en la resistencia del 23% a los 28 días y de un 38% a los 56 días, sustituyendo el 40% del cemento por la ceniza volante. La dosificación adecuada en el concreto para fines comerciales se limita entre la sustitución del 15% y 20% por masa del cemento, esto para tener una mejor trabajabilidad y reducción en la economía, pero hay que tener en cuenta que si se requiere una mayor durabilidad en el concreto es necesario tener contar con al menos 25% de ceniza volante en la mezcla, a lo que se le denomina concreto con alto volumen de ceniza volante. (Vidau, 2014)[30]



Figura 39.- Ceniza volante.

Fuente: <https://www.palamaticprocess.es/polvo-cenizas-volantes> (10/Mayo/2022)

6.3.2 Escoria de alto horno

La escoria de alto horno es otro material que se utiliza para la fabricación de concretos ligero, que principalmente es empleado para zonas de construcciones marítimas ya que presentan mayor resistencia a los ataques químicos. Otras de las propiedades por lo cual se implemento su uso es la reducción del uso del Clinker y a su vez la reducción de emisiones de CO_2 a la atmósfera, debido a que se puede realizar una reducción en el porcentaje del uso del Clinker

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

y ser sustituido por la escoria de alto horno. Entre sus tantos beneficios también reduce el costo de producción de hasta 40% de un concreto ordinario.



Figura 40.- Escoria de alto horno.

Fuente: <https://es.dreamstime.com/textura-con-trozos-grises-de-escoria-alto-horno-cierre-los-las-lápidas-altos-hornos-image196012136> (10/Mayo/2022)

6.4 ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES.

De manera general, los aditivos son una sustancias orgánicas o inorgánicas que es agregado al concreto para modificar alguna de sus propiedades en la mezcla final. Este tipo de aditivos es agregado para tener una mejor maleabilidad del concreto sin segregarse, además de reducir la relación agua/cemento.

La cantidad de aditivo no deber rebasar el 5% por masa de cemento. Cuando nos referimos a aditivos superfluidificantes de alto rango es aquel que permite reducir el agua entre un 15% a 25%, aportándole así también una durabilidad y resistencia alta.

6.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Para calcular la resistencia a la compresión de un concreto se realizan probetas cilíndricas generalmente de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, las cuales son sometidas en una máquina de ensayo para determinar la carga máxima que soporta y posterior calcular la resistencia denominada como f'_c , con la relación; la carga máxima registrada en kilogramos entre el área del espécimen en cm^2 .

6.5.1 Tipo de fracturas causadas por carga a compresión.

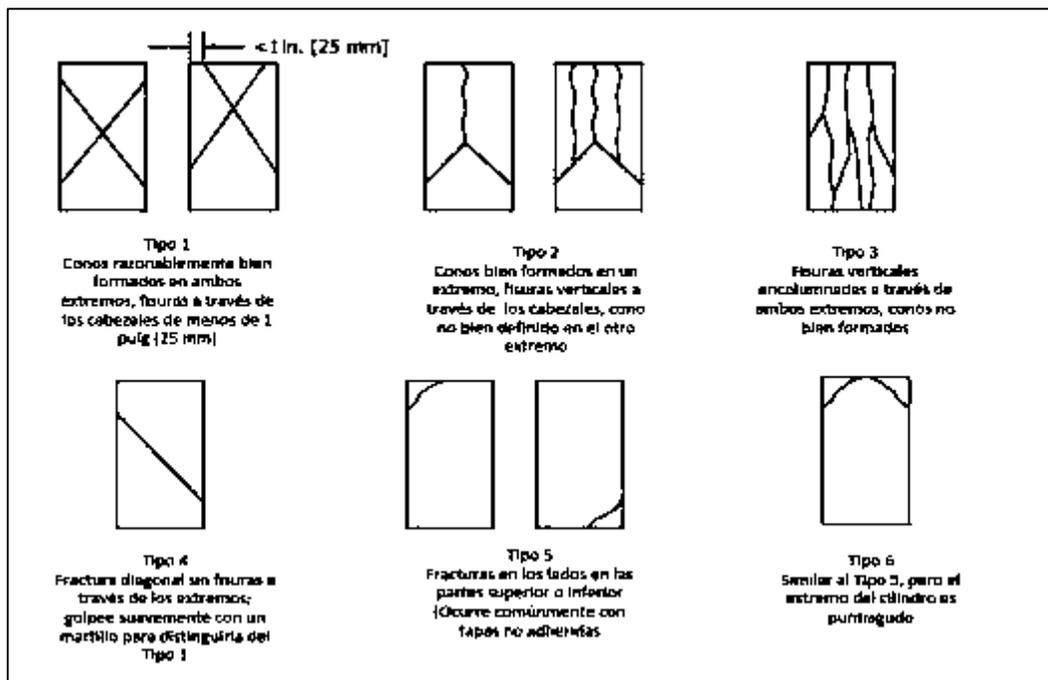


Figura 41.- Tipos de fracturas. (23/Mayo/2022)

https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/NTG_41017_h1_ASTM_C39.pdf

La imagen anterior describe el tipo de fracturas que se pueden presentar cuando los especímenes son sometidos a la carga de compresión, de acuerdo a lo anterior se clasificaran los siguientes especímenes ensayados

6.6 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO ELABORADO CON PERLITA Y CEMENTO PORTLAND COMPUESTO A 11 AÑOS DE EDAD.

6.6.1 Análisis de resistencia a la compresión simple y modos de falla.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 6.6.1.1. Espécimen No. 1, antes de aplicar carga a compresión (23/Mayo/2022),



Figura 42.- Modo de falla de la muestra No.1. (23/Mayo/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 43.- Muestra No.2, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)



Figura 44.- Muestra No.2, Fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022),

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 45.- Muestra No.3, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022),



Figura 46.- Muestra No.3, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 47.- Muestra No.4, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)



Figura 48.- Muestra No.4, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 49.- Muestra No.5, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)



Figura 50.- Muestra No.5, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 51.- Muestra No.6, antes de aplicar carga a compresión. (23/Mayo/2022)



Figura 52.- Muestra No.6, fisura producto de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 53.- Muestras después de la carga máxima aplicada. (23/Mayo/2022)

De acuerdo a las características de las fisuras mostradas se clasifican de manera general como fisuras Tipo II debido a la orientación de las grietas, paralelas a la carga.

Tabla 2.- Resumen de resultados de la prueba a compresión.

Muestra	Área(cm²)	Carga máxima(ton)	f'_c(kg/cm²)
1	176.71	10.07	56.98
2	176.71	6.04	34.18
3	176.71	5.67	32.08
4	176.71	6.27	35.48
5	176.71	6.16	34.85
6	176.71	6.63	37.52

6.7 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO ELABORADO CON PERLITA Y CEMENTO PORTLAND COMPUESTO A 11 AÑOS DE EDAD, IMPREGNADO CON RESINA POLIÉSTER INSATURADO PARA EL SELLADO DE FRACTURAS OCASIONADAS POR LA FRACTURA A COMPRESIÓN SIMPLE.

La resina poliéster es un polímero termoestable, es decir que solo son capaces de fundirse y moldearse una sola vez, una vez ya enfriados no es posible volverlos a trabajar ya que sus moléculas se enlazan permanentemente. La cual es polimerizada a través de un catalizador generalmente el peróxido de metil-etil-cetona, que es un líquido incoloro que presenta un olor altamente fuerte, generalmente utilizado en los polímeros para curar resinas de poliéster insaturadas; empleando un porcentaje de 1 a 2.5% en peso sobre la resina.

De las 6 muestras se tomaron los primeros 3 cilindros para ser sellados con resina poliéster insaturado, se preparo la resina con las siguientes cantidades de los compuestos:

Resina poliéster: 80g

Catalizador: $1.5 * \text{Gramos de resina poliéster} = 80 * 1.50 = 1.20\text{g}$

Procedimiento de realización y aplicación:

1. Se pesa 80 gramos de resina poliéster y se le agrega el 1.5% de catalizador respecto al peso de la resina.
2. Una vez agregado el catalizador se mezcla hasta lograr una consistencia espesa y se tendrá 10 minutos para su aplicación antes de que su consistencia cambie a un estado gelatinoso.
3. La aplicación es mediante una brocha, mediante la técnica de picado, cuidando que toda la muestra quede bien impregnada.



Figura 54.- Resina poliéster. (9/Junio/2022)



Figura 55.- Catalizador peróxido de metil-etil-cetona. (9/Junio/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 56.- Consistencia de la resina mezclada con el catalizador. (9/Junio/2022)



Figura 57.- Muestras selladas con resina poliéster. (9/Junio/2022)

Observación: Debido a la fractura en la muestra número dos, no se tomará en cuenta en la obtención de promedios para los resultados, ya que no es recomendable realizarle la prueba de compresión simple, nuevamente.

Una vez cubiertos con la resina se dejaron curar durante 24 horas para poder colocarle una segunda capa y posterior a esto se dejarían curar durante 72 horas para posteriormente ser sometidos a la prueba de compresión simple.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 58.- Muestra No.1 después de la carga aplicada de compresión simple.



Figura 59.- Muestra No.3 después de la carga aplicada de compresión simple. (9/Junio/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 60.- Interior de la muestra No.1, donde se observa que no hay penetración de resina poliéster en su interior. (9/Junio/2022)

Tabla 3.- Comparativa de carga máxima en muestra con resina de poliéster.

<i>Muestra</i>	Carga Máxima previa a la resina (ton)	Carga máxima posterior a la aplicación de la resina (ton)
<i>1</i>	10.07	5.77
<i>2</i>	6.04	-
<i>3</i>	5.67	5.29

6.8 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN CONCRETO LIGERO ELABORADO CON PERLITA Y CEMENTO PORTLAND COMPUESTO A 11 AÑOS DE EDAD, IMPREGNADO CON RESINA POLIÉSTER INSATURADO Y FIBRA DE CARBONO PARA EL SELLADO DE FRACTURAS OCASIONADAS POR LA COMPRESIÓN SIMPLE.

Para realizar esta prueba se tomaron las muestras 4,5 y 6, a las cuales se les aplicó un recubrimiento de resina poliéster combinada con fibras de carbono.

Procedimiento de realización y aplicación:

- 1.- Se pesa 80g de resina poliéster y se le añade 0.85g del catalizador y 1.60g de fibra de carbono respecto al peso de la resina.
- 2.- Una vez pesado, se añade la fibra de carbono junto con la resina, y mover la mezcla hasta que se integrara.
- 3.- Ya mezclados perfectamente la resina y la fibra de carbono se agrega el catalizador; de igual manera se mezcla correctamente y se aplica.
- 4.- La aplicación de la mezcla por el método de picado se realizó en un intervalo de tiempo menor a 10 minutos, ya que al reaccionar con el catalizador después de este tiempo su consistencia cambia y es poco manejable.
- 5.- De igual manera una vez que se aplicó la primera capa, se deja curar 24 horas y posterior se aplica una segunda capa, dejándola curar durante 72 horas, para después ser sometidos bajo carga de compresión simple.



Figura 61.- Fibra de carbono, (9/Junio/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 62.- Materiales utilizados para elaboración de la mezcla para rehabilitado. (9/Junio/2022)



Figura 63.- Muestra No. 4 rehabilitada con la primera capa de resina poliéster y fibra de carbono. (9/Junio/2022)

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Figura 64.- Falla de la muestra No.4 después de la rehabilitación y curado. (9/Junio/2022)

Tabla 4.- Comparativa de carga máxima con resina poliéster y fibra de carbono

Muestra	Carga Máxima previa a la resina (ton)	Carga máxima posterior a la resina y fibra de carbono (ton)
4	6.27	5.20
5	6.16	-
6	6.63	5.27

Observación: Solo se tomaron en cuenta las muestras 4 y 6 para tomar el resultado, ya que la muestra No.5 fallo en la primera ronda de prueba a compresión simple, por lo que no es posible incluirla en los resultados.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Tabla. 6.8.2 Comparativa de resultados con resina poliéster y resina poliéster y fibra de carbono

Resultados en muestras rehabilitadas con resina poliéster. (ton)	Resultados en muestras rehabilitadas con resina poliéster y fibra de carbono. (ton)
5.77	5.20
5.29	5.27

CONCLUSIONES

La finalidad de esta investigación es recopilar algunas de las técnicas que se pueden implementar para darle una segunda vida a algunas de nuestras estructuras, ya que algunas de las veces es más fácil demoler la estructura ya existente o bien, se pueden implementar algunas técnicas, pero no siempre de la mejor manera, por eso es importante conocerlas y saber cómo funcionan.

Se realizó un ensayo para ver el efecto de rehabilitar un concreto ligero, con resina epóxica y resina epóxica combinada con fibra de carbono, mostrando que no existe mayor diferencia entre los cilindros que fueron reparados solamente con resina epóxica y los que fueron reparados de manera combinada. Por lo cual deducimos que puede utilizarse alguno de los dos métodos, tomando en cuenta que estas rehabilitaciones son a nivel superficial, esta técnica no podría ser aplicada en estructuras de concreto con daño estructural, para eso se realizaría algún otro método posiblemente mencionado en esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Lamb, H. (15 de April de 2021). *Engineering and technology* . Obtenido de Iet:
<https://eandt.theiet.org/content/articles/2021/04/no-cement-concrete-holds-potential-for-decarbonisation-and-moon-buildings/>
- [2] Liviano, C.-3. C. (2020). *National Ready Mixed Concrete Association*. Obtenido de
<https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP36es.pdf>
- [3] Cuadros, J. (Julio-Septiembre de 2018). Bioconcreto un material con vida propia. *CienciAcierta*, 4-5.
- [4] Afif, R. (1 de Febrero de 2000). *Revista Construcción y Tecnología*. Obtenido de imcyc:
<http://www.imcyc.com/revista/2000/feb2000/durable.html>
- [5] Aire, C. (2011). Concreto permeable: alternativas sustentables . *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO* . Obtenido de CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO :
<http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- [6] Arq. del Rosal, J. A. (Marzo de 2017). DURABILIDAD Y PATOLOGÍA DEL CONCRETO. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, VI(12), 14-15.
- [7] Barbuo, M. S., & Borges, P. C. (2001). *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto* . México,D.F.
- [8] E. (s.f.).
- [9] Echegaray, C., Rojas, S., & Eddie, A. (2015). Los beneficios del uso de bacterias en el concreto autorregenerante . *CIVILIZATE* , 36-38.
- [10] Expanded Shale, C. & (s.f.). Obtenido de ESCSI: <https://www.escsi.org/wp-content/themes/escsi/assets/images/3%20Chapter%203%20Physical%20Properties%20of%20SLWA%20Completed.pdf>
- [11] Expanded Shale, C. & (Abril de 2007).
- [12] Hermida, G. (Septiembre-Diciembre de 2013). Concreto de baja Permeabilidad, algo más que disminuir A/C. *Sika*(56), 8-10.
- [13] Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezcla de concreto. (2013). *Universidad EAFIT*. Obtenido de repository:
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8510/Samuel_ArangoCordoba_a_JhonAnderson_ZapataSierra_2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [14] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2002). *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*. Mexico.
- [15] Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie,Illinois.: PCA.
- [16] Macías, O., Auxiliadora, M., Denisse, M., Monge, J. P., Monserrate, M., & Moreira, A. (2019). *Artículo científico-Análisis del concreto sin cemento* . Obtenido de Ensayo de Materiales:
https://www.researchgate.net/publication/337828564_ARTICULO_CIENTIFICO_-_Analisis_del_concreto_sin_cemento
- [17] Moncayo Theurer, M., Rodriguez, J., Alcívar, Lopez, Soriano, & Villacis. (24 de Noviembre de 2016). Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras. *Ingenieria Revista Academica*, 20(1), 57-62.

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

- [18] Mors, R. (Febrero a Noviembre de 2018). *Sedema.cdmx*. Obtenido de Women4climate:
http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Proyecto_Rene_Mors.pdf
- [19] Ortiz Lozano, J. A. (3 de Julio de 2007). Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico. *Ingeniería, Revista Académica de la FIUADY*, 13-20.
- [20] Quintana, E. d. (2015). Bio-concreto, un invento de hoy para el futuro. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, 13-13.
- [21] Ramirez de Alba, H., Perez Campos, R., & Díaz Coutiño, H. (1999). El cemento y el concreto de los mayas . *Ciencia ergo sum*, 276-277.
- [22] Reyes, L., C, V., & N, C. (Enero de 2017). Caracterización de las propiedades mecánicas del hormigón de un edificio habitacional. *Simposio de Habilitación Profesional*. Concepción, Chile .
- [23] S.B de Araujo, C., Brendon, G., Ronaldo, B., & Mayara, D. S. (2019). *BIOCONCRETO. Revista Diálogos Interdisciplinarias*, 1-11.
- [24] Sika. (2017). Reforzamiento de Estructuras de Concreto. 9-10.
- [25] Torres, R. (s.f.). *Academia* . Obtenido de https://www.academia.edu/37678437/MATERIALES_Y_MÉTODOS_DE_CONSTRUCCIÓN_EN_LA_ANTIGUA_ROMA
- [26] TOXEMENT, E. G. (2016). *GUIA BÁSICA PARA EL CURADO DEL CONCRETO*. Obtenido de T: https://www.toxement.com.co/media/3391/gui-a-ba-sica-para-el-curado_concreto.pdf
- [27] Valdés, A. (2017). Durabilidad del concreto:Conceptos y sustentabilidad. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, 17-21.
- [28] Valencia, J. P., Gonzalez, A. M., & Arbeláez, O. F. (2019). Evulation of the mechanical properties of modified concretes with glass microspheres and tire debris. *Lampsakos*.
- [29] Victor, P. Y. (Noviembre de 2031). *Las resinas epoxi en la reparación del hormigón estructural*. Obtenido de Universitat Politecnica de Valencia:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/11/19/las-resinas-epoxi-en-la-reparacion-del-hormigon-estructural/>
- [30] Vidau, E. d. (Julio de 2014). Concreto con alto volumen de ceniza volante. *Construcción y tecnología en concreto*, 9(11), 12.
- [31] Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, 1-24.
- [32]Vidaud, E. d. (2014). Concreto Inteligente . *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO* , 12.