



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**MITIGACIÓN DE RIESGOS DE PATOLOGÍAS EN
ELEMENTOS DE CONCRETO PREMEZCLADO EN
PUENTES**

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ING. OZIEL GILBERTO VEGA JIMÉNEZ

Asesor de tesis:

M. EN C. DANIEL DÁMAZO JUÁREZ

Puebla, Pue.

Junio 2020

Oficio de autorización del tema de tesis emitido por la Dirección de Ingeniería.

Oficio autorización de impresión de la tesis emitido por el asesor.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres, Eloina y Gilberto, las personas que más quiero y admiro en este mundo. Ustedes son mi inspiración para ser una mejor persona día con día.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mis padres, a mi mamá que aunque ya no se encuentre físicamente conmigo a diario la recuerdo, sus consejos y cariño siempre los tengo presentes, a mi papá que a lo largo de mi vida me ha brindado su apoyo incondicional, gracias papá por siempre escucharme, darme ánimos y consejos cuando las cosas no resultan como las planeo, gracias por siempre estar cuando más lo he necesitado.

Gracias a mis familiares por el apoyo brindado en esta etapa de mi vida, en especial a mi tía Elvira, a quien le agradezco el apoyo y cariño que me ha brindado, de no ser por ella nada de esto hubiera sido posible.

También quiero agradecer a mi asesor, el M. en C. Daniel Dámazo Juárez por compartir conmigo toda su experticia, conocimiento, tiempo y paciencia para que este trabajo pudiera realizarse, mi admiración y respeto hacia usted.

Gracias a mis amigos David, Esteban, Armando, Bere, Mtra. Evita y a la familia Martínez Loza quienes de una u otra forma me han brindado su apoyo para poder escalar un peldaño más en mi vida profesional.

ÍNDICE

Resumen.....	VIII
Abstract.....	IX
Introducción.....	X
CAPÍTULO 1. IMPORTANCIA DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO.....	12
1.1. La importancia de los puentes en la infraestructura carretera Mexicana	13
1.2. Condiciones geográficas y climáticas del sitio y su importancia	15
1.3. El concreto hidráulico y su composición	17
1.4. Características del concreto para su suministro y colocación en obra	18
CAPÍTULO 2. PRINCIPALES ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PROCESO DE COLADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN PUENTES Y SU NORMATIVA.	20
2.1. Transportación del concreto premezclado	20
2.1.1 Normativa que rige la transportación del concreto	21
2.1.2. Requerimientos de la transportación del concreto	22
2.2. Colocación del concreto.....	23
2.2.1 Normativa que rigen la colocación del concreto	24
2.2.2. Procedimiento de la colocación del concreto	25
2.3. Acomodo del concreto	26
2.3.1 Norma de Referencia (SCT) que rige el acomodo del concreto.....	27
2.3.2. Acciones a seguir para el acomodo del concreto.....	28
2.4. Curado del concreto.....	29
2.4.1. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de la Ciudad de México que rigen el curado del concreto	30
2.4.2. Relevancia del curado del concreto	31
2.5. Descimbrado	32
2.6. Reglamentación del ACI implicada en el proceso del colado	34
CAPÍTULO 3. LA DURABILIDAD Y UNA CORRECTA EJECUCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN PUENTES.....	37
3.1. Durabilidad y/o patología en elementos estructurales de un puente.....	38

3.1.1. Condiciones generales del sitio	39
3.1.2 Selección de los materiales	39
3.1.3 Diseño de mezclas	47
3.2. Planeación del Colado de elementos estructurales	57
3.2.1. Juntas previas al colado	58
3.2.2 Sistemas de colocación del concreto	60
3.3 Verificación de la calidad del concreto.	62
CAPÍTULO 4. PRÁCTICAS DEFICIENTES EN LOS PROCESO DE COLADO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN PUENTES Y SU MITIGACIÓN	69
4.1. Deficiencias y baja efectividad al no seguir especificaciones de los proyectos	70
4.1.1. Mejoramiento en la selección de materiales componentes del concreto.	71
4.1.2 Competitividad de la mano de obra implicada en el proceso constructivo.	74
4.2. Repercusiones en los proyectos generadas por malas prácticas	77
4.3. Mitigación de prácticas deficientes en el proceso constructivo del colado de elementos estructurales	78
Conclusiones	80
Recomendaciones	81
Referencias	83
Anexos A.....	86

Resumen

El presente trabajo consiste en desarrollar una investigación acerca de las principales causas que generan el desarrollo de patologías en estructuras de puentes de concreto, durante los distintos pasos que comprende el proceso del colado. El estudio comenzó por identificar las principales omisiones que se hacen durante la transportación, vaciado, acomodo y curado del concreto.

Aunado a las omisiones en el proceso, la mano de obra poco calificada, el desconocimiento de la normativa vigente, la implementación de materiales de mala calidad, proyectos con información incompleta y malas prácticas en la administración de los recursos, son algunas de las principales causas que generan las repercusiones y patologías en las estructuras de concreto.

Con la implementación de mejoras en la metodología de la planeación de los proyectos, la certificación en la mano de obra, un mejor conocimiento de la normativa y un diseño de la mezcla de concreto basado en la durabilidad, favorecen a la mitigación de patologías y que los elemento perduren por más tiempo, alargando su rango de vida útil.

Con la información obtenida a partir de esta investigación pretendo que este documento sirva como apoyo para el personal que interviene desde la concepción del proyecto; estructurista, Calculista, DRO. Hasta el personal técnico encargado de la supervisión, proveedores y personal en campo que para conformar una buena especificación, basada en los códigos locales de construcción y los documentos contractuales que ayude en mejorar la toma de decisiones durante el proceso de colado de estructuras de concreto en puentes.

Palabras clave; colado, concreto, patologías, mitigación y durabilidad.

Abstract

The present document is to develop and research about the main causes that generate structural concrete pathologies in concrete bridges, during the concrete casting process. The research started to define the main omissions during conveyance, placement, consolidation, finishing, protection and curing concrete.

Joined to the process omissions, low-skilled labor, unknown the current standard, low quality materials, incomplete projects and bad practice in resource application are some of the main points that cause repercussions and pathologies in concrete structures.

Improving in the project planning methodology, labor certification, better knowledge of the standard and concrete mix design, durability, for pathology mitigation and make the structure last longer while its useful life.

With the information obtained from this research, I intend that this document serve as support for the personnel who participate on the conception of the project; Designers, Calculator, DRO. Even the technical staff in charge of supervision, suppliers, and field staff who make up a good specification, based on local building codes and contract documents that help improve decision-making during the process of placement casting process of concrete structures on bridges.

Keywords; casting, concrete, pathologies, mitigation and durability.

Introducción

Los puentes en México desempeñan un papel crucial en la infraestructura carretera, debido a que facilitan la movilidad de las personas, bienes e incrementan el desarrollo económico del país. Hacer que estas estructuras perduren a través de los años es una responsabilidad que como profesionales de la construcción debemos considerar al vernos involucrados en el proceso constructivo de alguno de ellos.

La importancia de esta investigación se centra en identificar las deficiencias que se tienen en el proceso de la construcción de puentes. Principalmente en las actividades que comprenden el colado de concreto en estructuras, las omisiones de la normativa, deficiencias en los proyectos, malas prácticas en la ejecución, así como las repercusiones que estas pueden ocasionar en la calidad y durabilidad del puente.

Todo proceso involucrado en la construcción está regido por códigos y normativas que lo regulan, de ahí la importancia que el personal que se ve involucrado tenga conocimiento de ellos. Debido a esto, en el segundo capítulo del presente trabajo se describen las actividades que intervienen en el colado del concreto.

Hablar de la durabilidad en el concreto, es mencionar varios factores que se deben trabajar en conjunto y de manera correcta para poder lograr un elemento de buena calidad y que presente la menor cantidad de patologías posibles.

El entorno en el que se van encontrar expuestos los elementos de un puente después de haber sido construido, es un factor determinante y poco considerado a la hora de hacer la selección de los materiales que conforman el concreto. Los materiales que se emplean para realizar el concreto deben tener ciertas características y cumplir con estándares de calidad para evitar reacciones adversas una vez esté constituido el concreto.

Para tratar de contrarrestar la aparición de patologías en los elementos de concreto se pretende dar una mayor importancia al diseño de mezclas, basado en la durabilidad cuando los elementos están sujetos a un ambiente agresivo. Este tema se aborda en el capítulo tres mediante una comparación de diseño de mezclas, la cual contempla condiciones del entorno del sitio de los trabajos, mientras que en el diseño por resistencia no es tomado en cuenta.

Contar con un buen diseño de mezcla del concreto, no es garantía de que un elemento de concreto va a tener mayor durabilidad, debido que existen factores que no pueden ser controlados en obra, que intervienen indirectamente, pero que merman en la calidad de los elementos así como en su durabilidad. Tal es el caso de las malas prácticas en la administración de los recursos y la deficiencia que presentan la mayoría de proyectos en nuestro país, al querer iniciar la construcción de las obras sin tener un proyecto ejecutivo terminado. Estas prácticas alargan los tiempos de construcción, provocando sobrecostos en los presupuestos, baja calidad en los trabajos y por ende un bajo desempeño en las condiciones de servicio en los puentes.

En conjunto con las deficiencias antes mencionadas y el no contar con mano de obra calificada y personal técnico certificado que garantice la correcta ejecución de los trabajos durante las diferentes etapas de la construcción, puede generar una disminución en el correcto desempeño de las estructuras de concreto, generando trabajos de mantenimiento correctivo en un periodo de tiempo relativamente corto.

CAPÍTULO 1. IMPORTANCIA DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO

Es indispensable saber y tener en cuenta que una pieza fundamental en el desarrollo económico y social de nuestro país es el crecimiento y conservación de nuestra infraestructura carretera, puesto que de forma terrestre es la principal manera en que se da la comunicación que detona la economía nacional y su desarrollo. Es por eso, que en este capítulo nos enfocaremos en comentar la importancia de la infraestructura carretera y en especial los puentes, los cuales son de suma importancia para mantener e incrementar el progreso de nuestro país.

También se abordara sobre las condiciones del sitio donde se realiza la construcción de los puentes, así como las características que debe tener para poder garantizar que la estructura tendrá una vida útil y durabilidad deseada. Como es bien sabido, el concreto hidráulico es uno de los materiales más utilizados para la construcción de puentes, por lo cual, también se abordara sobre sus componentes y las acciones a seguir para que se obtenga los resultados adecuados utilizando los materiales adecuados que lo conforman, ya que no siempre se tienen las medidas o cuidados al momento de seleccionar los materiales o bajo qué ambiente se va encontrar el concreto una vez que esté entre en funcionamiento.

La red federal de carreteras es atendida en su totalidad por el gobierno federal. Registra la mayor parte de los desplazamientos de pasajeros y carga entre ciudades y canaliza los recorridos de largo itinerario, los relacionados con el comercio exterior y los producidos por los sectores más dinámicos de la economía nacional. Las redes estatales cumplen la función de comunicación regional, para enlazar las zonas de producción y la integración de extensas áreas en diversas regiones del país. Por su parte los caminos rurales o brechas mejoradas son vías modestas y en general no pavimentadas,

su valor es más social que económico, pues proporciona acceso a comunidades pequeñas que de otra manera se encontrarían aisladas (Coordinación General de Planeación y Centros SCT y la Dirección General de Planeación, 2001).

1.1. La importancia de los puentes en la infraestructura carretera Mexicana

Es relevante saber que los puentes son estructuras esenciales dentro del funcionamiento económico de las sociedades. En tiempos recientes se ha podido observar la importancia que adquieren ante un siniestro como lo fueron los sismos que azotaron al país el mes de septiembre del 2017.

Los puentes son elementos vitales en el funcionamiento de una región y el traslado de los servicios de emergencia a los lugares más afectados por desastres naturales, haciendo evidente la necesidad de mantener en pie este tipo de estructuras, con un nivel de seguridad y funcionalidad. En base a esto, es importante señalar que gran parte de la infraestructura vial de México se encuentra muy cerca del límite de su vida útil (Quiroz Ramírez & Ayala Milián, 2005).

Los puentes son estructuras fundamentales en los sistemas de carreteras, por lo que su correcto funcionamiento es primordial. El colapso de un puente o su mal funcionamiento, puede causar desde un confinamiento vehicular hasta la fractura de diversas actividades económicas, con pérdidas humanas irreparables y pérdidas económicas millonarias (Gómez Soberón, Barrera Bautista, & Miranda Cid, 2006)

En la República Mexicana existe un número importante de puentes carreteros, así como de puentes urbanos que se han incrementado recientemente en las principales ciudades del país, en donde, la mayoría de

ellos presentan problemas de deterioro, que pueden afectar su funcionamiento e inclusive hasta propiciar la falla de sus elementos estructurales. Debido a la edad y a las condiciones de seguridad estructural, los puentes del país no están exentos de sufrir daños que puedan limitar su servicio, incluso hasta sufrir el colapso. Esto también se puede agravar por el desgaste al que puedan estar sujetos a causa del intemperismo, la falta de mantenimiento así como el estar expuesto a solicitaciones naturales severas como el sismo y los huracanes, además de las cargas comunes como su propio peso y la carga debida al paso de los vehículos (Rivera Vargas, López Velázquez, & Estrada Molina, 2012).

Los puentes hoy en día sufren una serie de problemas o patologías como; desgaste por abrasión, agrietamiento, corrosión, ataque por ambiente marino, carbonatación, mala colocación del concreto (segregado), mala supervisión en la ejecución de los trabajos, la mala selección de materiales o nula revisión de los componentes que integran los materiales, provocando con esto una reacción álcali/agregado, por mencionar las más recurrentes. Desde un inicio las causas han sido por malas especificaciones, malas decisiones, falta de supervisión, desconocimiento de los materiales, malos procesos constructivos, desconocimiento de los diseñadores, condiciones de ambiente marino, ambiente ácido, reacción álcali/agregado, altas temperaturas, alta humedad. Con esto se ve afectando la vida útil de los puentes, así como los costos por mantenimiento correctivo y/o preventivo.

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, provocando muchas veces altos gastos de reparación. En un aspecto similar, siempre existirán consideraciones estéticas y reducciones de la capacidad de resistencia, en ocasiones conduciendo a una parcial o total falla estructural. Dado el constante aumento de situaciones de patología estructural, se ha visto un alza en el procesamiento de datos e información de las patologías así como nuevos conceptos tecnológicos. Algunos nuevos aspectos no tan difundidos sino hasta hace poco son el

rendimiento, durabilidad, entorno, ciclo de vida útil y mantención. Es posible definir como ciclo de vida material, como el periodo durante el cual sus características químicas y físicas permanecen sobre los límites mínimos especificados para su función (Tadeu Mascia & Lenz Sartorti, 2011).

El reconocimiento de la causa patológica es indispensable para garantizar la minimización de la patología. Las causas del deterioro de las estructuras pueden ser divididas en dos grandes grupos. Estas pueden ser causas intrínsecas y extrínsecas. Las causas intrínsecas son aquellas que residen en la estructura misma. Tienen su origen en sus componentes y materiales de la estructura. Son causas provocadas por errores humanos durante la ejecución, así como por agentes naturales externos como ataque químicos e incluso accidentes. Mientras que las causas extrínsecas son aquellas independientes de la estructura misma, ya sea por su composición o fallas durante la ejecución. Se pueden interpretar como factores que agreden las estructuras desde afuera hacia adentro durante el proceso de concepción, ejecución o diseño (Tadeu Mascia & Lenz Sartorti, 2011).

1.2. Condiciones geográficas y climáticas del sitio y su importancia

Tomar en cuenta las condiciones de localización, estratigrafía y ambientales que presenta el lugar en donde se construirá la estructura es de gran importancia. Esto debió a que, dependiendo de las características del lugar se puede determinar el tipo de cimentación o procedimiento constructivo que se utilizara, así como dependiendo la región del país se puede determinar o seleccionar el tipo de materiales que se tiene a la disposición.

En los trabajos de infraestructura carretera, en especial al tratarse de puentes, es importante realizar estudios de los suelos y condiciones hidro-topográficas independientes por cada estructura, debido a que frecuentemente

se acostumbra que al tener dos o más estructuras en el mismo proyecto carretero se da por asentado que tendrán las mismas condiciones. Pero la realidad es que cada sitio tiene sus propias características por muy cercanos que se encuentren uno de otro, por esto, cada sitio donde se construirá alguna estructura debe tener sus propios estudios, con lo que se evitara caer en incongruencias que posteriormente puedan cambiar el proyecto original.

En ocasiones por tratar de omitir estudios del sitio o pruebas a los materiales para ahorro de la empresa o dependencia a cargo de la obra, puede llegar a ser contraproducente. En caso que por alguna omisión en lo antes descrito, el proyecto original llegara a tener modificaciones, los tiempos y costos del mismo pueden ser mayores a los previstos y se estaría incurriendo en un problema mayor. Es por esto que, para evitar controversia es mejor realizar los estudios, tener las condiciones y características para cada tramo de construcción y apegarse a lo que indica el proyecto.

En la República Mexicana no es común que los puentes colapsen por la falta de capacidad de carga, sin embargo en ocasiones son sometidos a cargas extraordinarias que no fueron contempladas para el puente y han provocado cierto nivel de daño. El intemperismo al que están expuestos los puentes como son la lluvia, acción de sales y temperaturas extremas, impacta en la corrosión de diversos elementos como acero de refuerzo, presfuerzo y vigas metálicas que llegara a tener el puente, si se someten a ambiente agresivo tienen un alto riesgo de sufrir corrosión internamente lo que provoca debilitamiento de la estructura (Rivera Vargas, López Velázquez, & Estrada Molina, 2012).

El concreto, de la manera en que es empleado, tiene una naturaleza inestable a través del tiempo, presentando algunos cambios químicos y físicos en sus características debido a las propiedades de sus componentes y sus reacciones ante factores ambientales propios del lugar donde la estructura desarrolla su función. Existen muchos factores que intervienen en el comportamiento final del concreto, los más relevantes para el estudio de las

patologías dentro de las estructuras de concreto reforzado son: calidad del material, relación agua/cemento (w/c), medio ambiente, medidas y la calidad del proceso constructivo de obra civil (Tadeu Mascia & Lenz Sartorti, 2011).

1.3. El concreto hidráulico y su composición

El concreto hidráulico está conformado por cemento portland, agregados finos y gruesos o arenas y gravas, aditivos, fibras y agua. Pero, en diversas ocasiones por desconocimiento de los productos y materiales elaboramos o especificamos mal, obteniendo como consecuencia las malas obras o proyectos. Es por esto que debemos enfatizar la atención en cada uno de los procesos para su ejecución y no dejar de hacer hasta el mínimo detalle. Con esto estaremos garantizando que el concreto podrá cumplir con lo indicado en proyecto.

El concreto hidráulico es un material muy noble que requiere de muchos cuidados y al no hacer bien las cosas o por no tener o no aplicar las normas, reglamentos y procesos constructivos adecuados, terminamos haciendo mal los proyectos. Todas estas omisiones pueden llegar a tener grandes repercusiones tanto en lo económico como para la vida útil y seguridad estructura. Por ende, resulta ser también un problema para las personas o sociedad que hace uso de estas estructuras.

El concreto es el material de construcción más utilizado en las sociedades industrializadas. Sus prestaciones mecánicas y su poca necesidad de mantenimiento le hacen el material más competitivo de entre todos los posibles, sin embargo en ambientes muy agresivos su durabilidad se acorta (Torres Acosta & Martínez Madrid , 2001).

Las construcciones de concreto son indispensables para la infraestructura, industrial, de vivienda y carretera, con lo cual, se satisfacen

los requerimientos de la población. Por lo cual se reafirma la necesidad de proveer un buen concreto a las construcciones, una tecnología de materiales adecuada y soportada con conocimiento científico (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006).

El concreto elaborado con cemento portland es un material con una historia relativamente reciente. Debido a su consistencia rígida, se creía que este material tenía una larga vida útil, sin embargo la experiencia ha demostrado que no siempre es así. Los ejemplos de construcciones de estructuras de concreto con problemas, ante sus condiciones de servicio son abundantes y de diferente naturaleza, estos se han tenido que explicar, enfrentar y resolver desde diferentes aspectos como investigaciones serias, teorías, formulas, sistemas constructivos, pruebas de laboratorio y campo. Todo lo anterior con el objetivo de diagnosticar problemas de durabilidad y factores que en ella intervienen (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006).

1.4. Características del concreto para su suministro y colocación en obra

Por lo general las características del concreto a usarse en obra están determinadas en los catálogos de obra o en las especificaciones de planos del proyecto, donde se describe usualmente al concreto por su resistencia a la compresión (Cementos de México, 2017).

En la mayoría de los casos a menos que por las condiciones del sitio o así lo indique el proyecto, el concreto preferentemente deberá ser premezclado para poder garantizar una mejor calidad en los materiales a utilizarse.

Antes de que se realice el suministro del concreto para su colocación, se debe garantizar que existen las condiciones adecuadas en la ubicación del

elemento a colar, así como la cantidad de mano de obra disponible, ya que de esto depende la velocidad con la que serán requeridas las entregas de concreto, hasta cumplir con el volumen requerido.

El paso más importante al colocar el concreto es la planeación, planificar cada paso antes de que se reciba el concreto. Una planeación apropiada evita segregación, retrasos, desperdicio y problemas que se desarrollan a partir de estos (Cementos de México, 2017).

Como en cualquier otra actividad es importante contar con el equipo necesario para el correcto transporte y colocación del concreto, ya que de lo contrario podemos provocar su segregación y afectar su durabilidad. La segregación puede darse durante el mezclado, transportación, colocación o compactación del concreto. La segregación hace que el concreto sea más débil, menos durable y deja un pobre acabado de la superficie, de ahí la importancia de que todo el equipo utilizado para la colocación del concreto debe estar limpio y en buenas condiciones de uso (Cementos de México, 2017).

Al suministrarse concreto para el colado de algún elemento, debe procurarse un acceso libre para transportarlo. El método que se elija para la colocación del concreto va depender de cual implica un menor costo dependiendo el tamaño de la obra. Para tener una idea más clara sobre el colado de estructuras de concreto, en el siguiente capítulo abordaremos las diferentes actividades que se realizan durante el colado y las normativas que las rigen.

CAPÍTULO 2. PRINCIPALES ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PROCESO DE COLADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN PUENTES Y SU NORMATIVA.

Cada proceso constructivo se ve regido por normativas y reglamentos que regulan su ejecución. El objetivo de estos es evitar irregularidades que, con el paso del tiempo, se han ido corrigiendo. Sin embargo, en repetidas ocasiones, a pesar de la existencia de la norma, se ignoran los pasos a seguir en la construcción, se desconocen las especificaciones del proyecto, el proceso constructivo, herramientas, etc. En consecuencia, la omisión a las indicaciones de la normativa y reglamento durante el proceso de colado de los elementos estructurales abre paso a la existencia de fallas durante la ejecución de los trabajos. Por lo que, en este capítulo, se hará mención de la Normativa y reglamentación que existe en nuestro país, así como de la reglamentación más utilizada en gran parte del mundo, en este caso la Reglamentación del Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en Inglés). Además, se establecerá el impacto que tiende a seguir las indicaciones y recomendaciones de las normativas para obtener un concreto resistente, durable y con el menor número de patologías posibles.

2.1. Transportación del concreto premezclado

La elección del método para transportar el concreto se ve influenciado por el costo y la practicidad que depende del tamaño de la obra. Este trabajo aborda el colado de elementos estructurales en puentes con concreto premezclado. Por lo que, uno de los métodos más práctico para trasladar el concreto premezclado de planta a obra es por medio de camión revolvedora.

Al no tener una buena planificación en la transportación del concreto, se requiere tomar en cuenta tres eventos que podrían afectar seriamente la

calidad del mismo: la segregación de los componentes del concreto, el endurecimiento temprano y los retrasos. En estos eventos, es donde se debe concentrar la atención para evitar que se generen fallas en el concreto que puedan repercutir posteriormente en el elemento a colar.

Uno de los principales problemas de la transportación del concreto es la segregación de los materiales que lo componen. Por lo que, el concreto debe ser transportado en cantidades pequeñas como sea posible. Con esta medida, se verá reducido el problema de la segregación y el desperdicio del concreto.

Otro factor importante que interviene en la transportación del concreto es el tiempo de traslado. Este va relacionado directamente con el fraguado del concreto. Se debe tener una planificación eficiente para evitar retrasos. Por ejemplo, los espacios donde se colocará el concreto deben estar preparados, así como los trabajadores y la herramienta que se va requerir antes de que el concreto sea recibido (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

El transporte del concreto debe organizarse de forma que se eviten los retrasos en la colocación del concreto para cualquier elemento. De lo contrario, se pueden producir rellenos de nivel indeseable o juntas constructivas imprevistas. Si se llegaran a dar retrasos o interrupciones en la entrega del concreto al sitio de colocación, esto pudiera causar pérdida de plasticidad entre colados sucesivos (LOVE, 2006).

2.1.1 Normativa que rige la transportación del concreto

Las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México (2017) mencionan que el manejo y los equipos que se emplean para la transportación del concreto deben ser capaces de garantizar el suministro continuo del concreto al lugar de su colocación. De la misma manera, la transportación

debe ser segura para todas las condiciones y para todos los métodos de colocación.

Los métodos que se empleen para la transportación del concreto deberán ser tales que eviten la segregación o pérdida de sus ingredientes. Sin embargo, en la normativa no se menciona las consecuencias que se pueden generar al no cumplir con los tiempos, que afectan la calidad del concreto al ser entregado (Reglamento de la Ciudad de Mexico NTC CDMX, 2017).

De acuerdo con las NTC, en el proceso que se empleen camiones mezcladores o agitadores para la transportación del concreto, estos no deberán ser llenados a más del 80% de su capacidad. Tomando en cuenta también, que la entrega del concreto de la planta mezcladora al pie de obra deberá ser realizada durante la primera hora y media inmediata o antes de que la olla del camión haya realizado 300 revoluciones. Es decir, lo que llegara a suceder primero desde el momento que haya agregado agua a los ingredientes de la mezcla.

Si las condiciones de la obra requieren que el concreto sea bombeado, el equipo de bombeo se deberá de colocar fuera de la zona del colado. Puesto que, el equipo de bombeo puede llegar a generar vibraciones que dañan el concreto fresco. Para que el proceso de bombeo sea adecuado, la mezcla deberá cumplir con las siguientes condiciones: deberá ser plástica, cohesiva y de consistencia media. Al mismo tiempo, durante de los trabajos de bombeo y acomodo se deberá tener en obra equipo auxiliar de apoyo para evitar interrupciones en el colado (Normativa SCT, 2004).

2.1.2. Requerimientos de la transportación del concreto

Para que la transportación del concreto se realice de manera eficaz, es necesario una buena planeación en los tiempos de traslado. Otro punto importante es la selección del equipo o maquinaria adecuada para la transportación del concreto, esta selección dependerá de las dimensiones de

los elementos a colar. Si se elige de manera errónea el método y el equipo para transportar el concreto, se generan segregaciones en el material, que afectarán directamente al elemento y provocarán patologías en el proceso del colado.

Uno de los requerimientos durante el proceso de trasportación del concreto es que el personal, la herramienta y la superficie o cimbra de contacto se encuentren preparados para recibir el concreto. Por lo que, en repetidas ocasiones, los atrasos en el vaciado del concreto no se deben al traslado, sino a la falta de organización y planeación en obra. Como consecuencia, al iniciar el proceso de fraguado, el concreto pierde manejabilidad y puede generar juntas frías en el momento de su colocación (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

2.2. Colocación del concreto

La colocación del concreto juega un papel importante en la obtención de un elemento bien consolidado. En consecuencia, una buena técnica de vaciado y compactación del concreto produce una unión sólida entre el mortero y los agregados. Al mismo tiempo, se asegura un relleno completo de la cimbra (LOVE, 2006).

El concreto debe ser colocado lo más cercano posible a lo que será su posición final. Esto debido a que se trata de evitar el movimiento horizontal del concreto, ya que produce la separación de los componentes del concreto. En consecuencia, el mortero tiende a separarse de los agregados, lo que generará que el concreto pierda su configuración original (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

2.2.1 Normativa que rigen la colocación del concreto

Las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de la Ciudad de México (2017) mencionan que los procedimientos de colocación deben asegurar una densidad uniforme del concreto y evitar la formación de oquedades. Uno de los principales puntos a cuidar durante el acomodo del concreto es la limpieza de la superficie donde se recibirá el concreto. Es decir, el lugar debe estar libre de materiales sueltos, como partículas de roca, polvo, clavos, basura, etc.

La colocación del concreto deberá ser continua hasta que el elemento estructural sea terminado en su totalidad o hasta que el personal a cargo lo indique. De igual forma, se colara por frentes continuos hasta que todas las secciones del elemento estructural sean cubiertas (Normativa SCT, 2004).

Durante la colocación del concreto, se debe garantizar que los moldes que lo recibirán se encuentren firmemente sujetos. En lo que respecta al acero de refuerzo, este deberá estar completamente limpio, colocado y sujeto de una manera adecuada. Además, no se debe permitir la existencia de agua en el lugar del colado, a menos que se tomen las medidas necesarias para colocar el concreto en esas condiciones (LOVE, 2006).

En cuanto a los trabajos en un mismo frente, el lapso de tiempo entre un vaciado de concreto y otro no deberá ser mayor a 30 min, a menos que el personal a cargo dictamine otra cosa. De ser requerida iluminación artificial durante el proceso del vaciado, se deberá garantizar una visibilidad suficiente en todo el elemento por colar; al igual que en todos los sitios que así lo requieran para realizar las actividades adecuadamente (Normativa SCT, 2004).

2.2.2. Procedimiento de la colocación del concreto

Al concreto en estado fresco, antes de su colocación, hay que realizarle pruebas para garantizar que cumple con los requisitos de revenimiento. Por lo que, el contenido de agua debe limitarse a manera que el revenimiento nominal a pie de obra no exceda los 10 cm y si es bombeado. En caso de que se requiera el aumento en el revenimiento, este se realizará por medio de aditivos superfluidisantes o reductores de agua (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2009)

Uno de los requerimientos para la colocación del concreto es el vaciado en tramos horizontales parejos, evitando vibraciones o sacudidas en el lugar. Otro requerimiento es el cuidado de que este no fragüe antes de vaciar la siguiente capa, para evitar huecos o espacios vacíos en el elemento (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

El concreto, al momento de ser vaciado, debe colocarse desde las esquinas; en el caso de que haya una pendiente, se deberá colocar primero desde el nivel más bajo. De igual forma, si el concreto, al momento de ser colocado pierde su manejabilidad, no se debe agregar únicamente agua para mejorarla. Por lo tanto, se deberá usar una mezcla de pasta agua-cemento, para no alterar su composición original. Si la colocación del concreto se realiza directo de un camión, se debe vaciar de manera vertical y no deberá caer de una altura mayor 1.5 metros. De no ser así, la segregación del concreto es inminente, ya que generará que la resistencia del elemento se vea afectada significativamente (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

El colado debe ser efectuado a una velocidad tal que el concreto conserve su estado plástico y fluya con facilidad en todos los espacios donde será colocado. Una vez iniciado el colado, se llevará a cabo una operación continua, hasta que se termine el colado de la sección completa. Al mismo

tiempo, si durante la colocación del concreto existe alguna interrupción y el concreto llega endurecer, este deberá ser desechado, para evitar la generación de juntas no deseadas, que repercutirán en la durabilidad del elemento colado (Cementos de México, 2017).

2.3. Acomodo del concreto

El acomodo del concreto es una operación fundamental que interviene directamente con la durabilidad del elemento a colar. Este trabajo se realizará posteriormente al vaciado. Para efectuar esta acción, se puede hacer uso de palas, cucharas o pisones, dependiendo el tamaño de la obras. El método que se elija para el acomodo del concreto dependerá en gran medida de la consistencia de la mezcla y las condiciones del medio donde será colocado el concreto. Sin embargo, es preferible el uso de vibradores mecánicos, ya que la herramienta compactadora debe llegar a la parte inferior de la cimbra y ser lo suficientemente pequeña para pasar entre el acero de refuerzo (LOVE, 2006).

El acomodo del concreto se puede realizar sacudiendo o golpeando la cimbra o vibrando el concreto para que adquiera una consistencia plástica. Como consecuencia de este procedimiento, se permitirá que el aire atrapado en el concreto sea expulsado y no queden oquedades en la estructura (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2005).

Un acomodo adecuado del concreto por medios mecánicos posibilita la colocación de mezclas poco fluidas, con baja relación agua-cemento y alto contenido de agregado grueso. Estas son características de concretos de alta calidad, aún en elementos altamente reforzados.

El vibrado interno de un elemento se hace con un vibrador mecánico de flecha flexible (o de chicote), el cual se coloca dentro del concreto y lo vibra

desde el interior. Es importante asegurar que el número de trabajadores sea suficiente en el momento del colado, de modo que unos puedan vibrar mientras que otros puedan continuar con la colocación de la mezcla. El área vibrada en cada ocasión se le determina radio de acción. Por lo tanto, la compactación deber tener un patrón definido, de modo que el radio de acción se traslape y cubra toda el área de concreto (Cementos de México, 2017).

En el caso que se requiera mover el concreto para su acomodo, nunca se deberá extender o mover el concreto con el vibrador, ya que puede provocar sangrado o segregación. Motivo por el cual, un concreto compactado de forma correcta tiende a ser más denso, resistente y durable. De igual forma, al retirar la cimbra, la calidad en los acabados será de mejor (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2005).

La vibración externa en el caso de losas es por medio del regleado, el cual nivela y compacta el concreto, aunque en un nivel menor que con un vibrador mecánico. Con el enrasador mecánico, el concreto debe ser regleado dos veces: el primero nivela el concreto burdo y lo compacta; el segundo, compacta aún más el concreto. Sin embargo, es necesario mantener sobrecarga de concreto enfrente de ambas reglas de la enrasadora, para evitar que se formen huecos en la superficie (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2005).

2.3.1 Norma de Referencia (SCT) que rige el acomodo del concreto

El acomodo del concreto deberá realizarse dentro de los 30 minutos posteriores a la incorporación del agua en mezcál. Con esta medida, se pretende garantizar el llenado total de las cimbras o moldes. Por lo tanto, se elegirá el equipo de vibrador, dependiendo de la estructura a colar y para el acomodo del concreto. Así, se garantizará la eliminación de huecos en la masa de concreto y contar con el número de vibradores que se requieren, para

asegurar un correcto acomodo de la revoltura, de acuerdo al volumen de concreto a colocar.

En el colado de elementos estructurales o en elementos que se indiquen, se deberá garantizar que los equipos de vibrado cumplan con el tipo, frecuencia y potencia adecuada. Así, se obtendrá un concreto compacto, con textura uniforme y una superficie tersa en sus caras visibles. No obstante, en el acomodo del concreto se evitará que el vibrado sea excesivo, para impedir segregaciones o clasificaciones en la revoltura. Al mismo tiempo, se sorteará el contacto directo entre el vibrador y acero de refuerzo, para impedir afectaciones en las zonas previamente coladas o modificar la posición del acero de refuerzo.

El modo de operar de los vibradores es de forma vertical, por ningún motivo se aceptará la introducción de la cabeza del chicote en forma horizontal. En el caso de concretos masivos, el vaciado de concreto debe realizarse mediante diferentes capas. La cabeza vibradora deberá penetrar aproximadamente cinco centímetros en la capa subyacente a la que se encuentra en estado plástico y que no haya alcanzado su fraguado inicial. De igual forma, en las áreas donde se deposite concreto fresco sobre concreto previamente colado, se realizará un vibrado mayor a lo usual, para que se haga contacto con el concreto ya vibrado (Normativa SCT, 2004).

2.3.2. Acciones a seguir para el acomodo del concreto

El vibrador de concreto debe ser lo suficientemente largo para alcanzar y entrar en las capas de concreto por debajo de la que se está compactando. Es decir, la capa deberá tener, aproximadamente, la longitud de la cabeza del vibrador o no superar los 50 cm (Cementos de México, 2017).

Para un concreto de trabajabilidad promedio, es decir, 10 cm de revenimiento, un vibrador tendrá un tamaño entre 2.5 y 7.5 cm, el concreto deberá ser vibrado de entre cinco y quince segundos. Se deberá tener presente/recordar que es más perjudicial para el elemento la insuficiencia en el vibrado que vibrar en exceso el concreto (Cementos de México, 2017).

2.4. Curado del concreto

Después del vaciado y acomodo de la mezcla, no se debe permitir que el concreto se seque, de lo contrario su endurecimiento no será el apropiado. Al mantener húmedo el concreto, la adherencia entre la pasta y los agregados se hace más fuerte. En otras palabras, curar significa cubrir el concreto de tal modo que permanezca húmedo (Cementos de México, 2017). El curado del concreto deberá incluir todas las operaciones necesarias para mejorar la hidratación del cemento después del fraguado. Por lo que, al efectuarse el curado de manera correcta por un periodo suficientemente largo, se producirá un concreto fuerte e impermeable (Merritt, Loftin, & Ricketts, 2008).

Un concreto curado, a comparación de uno que no haya recibido este proceso, tendrá una superficie que resistirá mejor el desgaste, durará más y protegerá mejor el acero de refuerzo. También, tendrá menos posibilidades de agrietarse, será más durable y favorecerá el incremento de su resistencia a la compresión (Cementos de México, 2017).

Existen varios métodos para la aplicación del curado, aunque los más comunes son los siguientes: la aplicación de agua directamente sobre la superficie, cubrir la superficie con hojas de plástico o la aplicación de una membrana de curado. El primer método consiste en poner un rociado de agua continuo, fino y neblinoso sobre el concreto. Este rociado de agua deberá ser muy fino, para no dañar la superficie del concreto. Lo importante de este método es mantener húmedo el concreto en todo momento. El segundo

consiste en cubrir el concreto con hojas de plástico para hacer más lenta la pérdida de agua. Sin embargo, este método presenta ciertas desventajas: evitar que las hojas se vuelen y la superficie del concreto se seque. El tercer método consiste en curar el concreto mediante la aplicación de una membrana que disminuye la pérdida de agua. Esta membrana se aplica por medio de un aspersor o brocha, una vez que se ha realizado el acabado final en la superficie del concreto (Cementos de México, 2017).

El curado adecuado del concreto es uno de los requisitos más importantes para obtener las propiedades estructurales deseadas y de durabilidad del concreto. Aunque el concreto utilizado en la obra sea de buena calidad, el curado es necesario para garantizar que el concreto proporcione un buen servicio a lo largo de la vida útil de la estructura (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

Una vez concluido el curado, se procede al secado de la superficie y la hidratación del cemento cesa cuando el contenido de agua de la capa superficial decrece por debajo de un valor crítico (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2004).

2.4.1. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de la Ciudad de México que rigen el curado del concreto

El concreto debe mantenerse por lo menos siete días en un ambiente húmedo, en el caso que se haya utilizado cemento ordinario, y tres días, si el cemento utilizado es de alta resistencia inicial. También, se puede acelerar la adquisición de resistencia y reducir el tiempo de curado mediante el uso de vapor a alta presión, vapor a presión atmosférica, calor y humedad. Sin importar el proceso de curado que se aplique, este deberá producir un

concreto con una durabilidad mayor o equivalente a la que se obtiene en un ambiente húmedo (Reglamento de la Ciudad de Mexico NTC CDMX, 2017). Es fundamental evitar la pérdida de agua en el concreto, para que alcance su resistencia y durabilidad potencial, protegido mediante el curado que indique el proyecto. De igual forma, el agua que se empleará para el curado del concreto deberá cumplir con la misma calidad con la que se realizará el concreto.

A expensas de que el proyecto indique otra cosa, se aplicarán riegos de agua sobre las superficies expuestas y los moldes; de tal modo que, no marquen huellas sobre la superficie. Al mismo tiempo, los riegos se aplicarán dependiendo el tipo de cemento que se emplee. Por lo tanto, se regará durante 7 días, cuando se utilicen cementos portland de clase resistente 20, 30 y 40 y 3 días, cuando se utilicen cementos portland de clase resistente de 30R y 40R.

Cuando lo establezca el proyecto, para curar el concreto se aplicará una membrana impermeable en las superficies expuestas que impida la evaporación del agua contenida en el concreto. La cantidad, la clase de producto y el modo de aplicación deberían cumplir las especificaciones fijadas en el proyecto o que el encargado de la obra apruebe.

El curado del concreto también se puede realizar al cubrir las superficies expuestas con arena, costales o mantas, que se deberán mantener húmedas, al igual que los moldes. Este procedimiento se llevará a cabo por 7 días, cuando se utilicen cementos portland de clase resistente 20, 30 y 40, y 3 días cuando se utilicen cementos portland de clase resistente de 30R y 40R (Normativa SCT, 2004).

2.4.2. Relevancia del curado del concreto

El curado del concreto se iniciará inmediatamente después de que al concreto se le aplique algún acabado. De tal forma, que no se afecte al

elemento colado. De ahí que, el curado sea necesario para garantizar la continuidad de la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia, así como reducir contracciones por secado (Cementos de México, 2017).

Si el concreto no se encuentra constantemente en un ambiente húmedo, el agua capilar y el agua absorbida se evaporarán progresivamente a la temperatura de la fase plástica. Situación que producirá cambios de volumen, originados por una contracción que obligará que los agregados se aproximen entre sí. Como resultado de esta contracción, se generará una deformación impuesta espontánea. En consecuencia, el concreto no será capaz de soportar la deformación y se romperá a causa de la tensión y aparecerán fisuras (Toirac Corral, 2004).

La cantidad y grado de hidratación del cemento así como del resultado de resistencia del concreto dependen, en gran medida, del proceso de curado que se lleva a cabo una vez que el concreto se ha vaciado y consolidado. No obstante, se continuará con la hidratación del cemento por un lapso indefinido a medida que el agua de la mezcla decrece y las condiciones de temperatura se mantengan favorables. Una vez que se elimina el agua, el proceso de hidratación del cemento termina y no se puede reiniciar o reactivar. Dada la importancia del curado del concreto, para obtener la resistencia adecuada en un elemento, es necesario mantener el concreto húmedo a una temperatura aproximada a 23 °C. Así, se garantizará que las propiedades del concreto se mantengan (LOVE, 2006).

2.5. Descimbrado

Normalmente se puede descimbrar cuando el concreto ha ganado suficiente resistencia para sostener su propio peso y cualquier carga de construcción que tenga que soportar sin deflectarse más allá de los límites especificados. Usualmente los muros y columnas pueden ser descimbrados

antes que las vigas y las losas. Las cimbras y moldes están diseñados para retirarse gradualmente y minimizar las sacudidas e impactos.

La ganancia de resistencia del concreto depende del tipo de cemento del tipo de aditivos, de la temperatura del concreto cuando es colado y de la temperatura y el tiempo entre la colocación y el descimbrado.

El tiempo como medida de resistencia para poder descimbrar, el ACI (ACI 347, 2004)) recomienda que se utilice el criterio de ganancia de resistencia para determinar la edad de del concreto para desmoldar y descimbrar. En ausencia de dicho criterio, el tiempo que deben permanecer las cimbras en su sitio cuando la temperatura del aire es mayor a 10 °C se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 *tiempos para descimbrado.*

Muros	12 horas	
Columnas	12 horas	
Cimbras lateral de vigas	12 horas	
Losas con viguetas		
Paneles de 900 mm ancho o menos	3 días	
Paneles de más de 900 mm ancho	4 días	
Losas postensadas	Cuando están totalmente tensadas	
Fondo de vigas y viguetas	Donde la carga viva de diseño es	
	<Carga muerta	>Carga muerta
Menos de 3 m de claro	7 días	4 días
3 a 6 m de claro	14 días	7 días
Mayor a 6 m de claro	21 días	14 días
Losas en una dirección		
Menos de 3 m de claro	4 días	3 días
3 a 6 m de claro	7 días	4 días
Mayor a 6 m de claro	10 días	7 días

Losa en dos direcciones	Dependiendo de si el reapuntalamiento (cuando sea requerido) se coloca inmediatamente después del descimbrado. Cuando el reapuntalamiento se requiere para minimizar deflexiones o flujo plástico, la capacidad de los puntales y su espaciamiento deben ser definidos por un ingeniero.
-------------------------	--

Fuente: *Guía para el diseño Construcción y Materiales de Cimbra para concreto* (ACI 347, 2004)

Cuando se utiliza cemento de alta resistencia inicial estos tiempos se pueden acortar. Cuando la temperatura ambiente permanece por debajo de los 10 °C o se han agregado aditivos retardantes, estos tiempos deben prolongarse. En el caso de construcciones masivas pueden requerir mayor tiempo para desmoldar y descimbrar.

2.6. Reglamentación del ACI implicada en el proceso del colado

El Instituto Americano del Concreto (ACI) es una autoridad líder y de recursos a nivel mundial. Este se encarga de desarrollar, difundir y propiciar la adaptación de las normas basadas en recursos técnicos, programas educativos y de formación, así como de programas de certificación. El objetivo es mejorar el uso del concreto (ACI 318S, 2014)

El reglamento que propone el ACI rige todos los aspectos relativos al diseño y a la construcción de concreto estructural. Excepto los casos en que este reglamento entre en conflicto con el reglamento general de construcción legalmente adaptado (ACI 318S, 2014).

Debido a los aspectos en el proceso del colado de elementos estructurales en puentes, tema en que se abordará en este trabajo, a continuación se señalarán los aspectos fundamentales en los que interviene la normativa del ACI. Es decir se mencionará la normativa que rige las actividades que intervienen en el proceso del colado: la traspportación, el vaciado, acomodo y curado del concreto. Con esta información se compararán las normas mexicanas y las de nivel mundial, en cuanto a los criterios que manejan en el manejo del concreto.

En cuanto a la traspportación del concreto, el ACI menciona que el concreto se debe traspportar desde la mezcladora hasta el sitio final donde será vaciado; de tal modo que, el método empleado evite la segregación y perdida de material. Además, señala que el equipo de traspporte deberá garantizar un abastecimiento del concreto sin interrupciones, para evitar la pérdida de plasticidad entre capas sucesivas de colocación (ACI 318S, 2014).

En cuanto a la colocación del concreto, el ACI establece que el concreto debe ser vaciado a una velocidad tal que conserve su estado plástico en todo momento y pueda fluir por todos los espacios dentro del refuerzo. De lo contrario, si el concreto ha endurecido parcialmente, no se colocará en la estructura por colar. Asimismo, al iniciar la colocación del concreto, se hará de manera continua, hasta que se termine el llenado y se deje a nivel de la sección (ACI 318S, 2014).

Con relación al acomodo del concreto, el reglamento indica que todo concreto debe compactarse cuidadosamente por medios adecuados durante la colocación. Esto implica que, el acomodo del concreto se realizará por completo alrededor del refuerzo y de las instalaciones embebidas, si existieran y en las esquinas de la cimbra (ACI 318S, 2014).

El reglamento del ACI se refiere al curado del concreto como un proceso que mantendrá la mezcla a una temperatura por encima de los 10 °C y en condiciones de humedad por lo menos los primeros 7 días, después de la

colocación. De igual manera, el concreto de alta resistencia inicial deberá conservar una temperatura por encima de los 10 °C y en condiciones de humedad por lo menos los primeros 3 días. De tal modo que, un elemento durable y resistente dependerá mucho de la selección de un buen método de curado (ACI 318S, 2014).

A lo largo de este capítulo se presentaron los principales procesos implicados en el colado de elementos estructurales, de la reglamentación y normativa que los rige. Además, se mencionó la reglamentación que presiden a nivel internacional. En el siguiente capítulo, se abordará el impacto de una buena ejecución del colado, en el caso de elementos estructurales de un puente. Así como importancia de un buen diseño de mezcla dependiendo de las características que presente el sitio de los trabajos.

CAPÍTULO 3. LA DURABILIDAD Y UNA CORRECTA EJECUCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN PUENTES

La durabilidad representa una de las características primordiales por las cuales el concreto ha tenido un uso generalizado. Es por esto que la durabilidad del concreto se determina como la capacidad para resistir la acción a la intemperie, ataque químico, abrasión, o cualquier otro proceso de deterioro (ACI 201.2R, 2008). Las condiciones ambientales del sitio donde se realizaran los trabajos y el tipo de material que se tenga en la región, son un punto esencial para poder determinar las especificaciones que deberá tener la mezcla de concreto, para poder obtener elementos duraderos. En el presente capítulo se abordaran algunas de las condiciones patológicas que pueden presentarse en los elementos de concreto, afectando considerablemente en su durabilidad. Teniendo las características de los materiales a utilizarse, algunas de estas condiciones patológicas pueden prevenirse con un adecuado diseño de la mezclas. Aunque también se debe considerar, que no por tener un buen diseño de mezclas se garantiza un buen concreto, también se debe considerar que pueden presentarse inconvenientes en el proceso constructivo, que pueden traer como consecuencia afectaciones en la durabilidad del elemento de concreto. Es por eso que, en este capítulo también se enfatizara en la planeación y control de la mano de obra que intervienen en el proceso constructivo.

El diseñar una estructura por durabilidad aporta ventajas técnicas y económicas. Técnicamente permite que la estructura tenga un mejor desempeño ante sus condiciones de servicio y por lo tanto la disminución en las reparaciones, hecho que en términos económicos minimiza costos operativos y de mantenimiento. Constantemente se menciona que el costo de proveer una vida útil y larga a las construcciones resulta prohibitivo y requiere una gran inversión de recursos que se pueden destinar a otros

aspectos. Un buen diseño que considera los riesgos del ambiente, no es más caro que el diseño que los ignora (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006).

3.1. Durabilidad y/o patología en elementos estructurales de un puente

La durabilidad está determinada como la capacidad del concreto hidráulico para resistir satisfactoriamente durante la vida útil de la estructura, las cargas de diseño, la acción ambiental, ataque químico o abrasión y de proteger el acero de refuerzo y demás elementos metálicos embebidos de la corrosión o proceso de deterioro, con el objeto de que el concreto mantenga su forma original, condición de servicio y propiedades mecánicas (NMX-155, 2014).

La Patología del Concreto se define como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y remedios. Se entiende por Patología a aquella parte de la Durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto. Durante su vida útil, el concreto puede llegar a sufrir daños que alteren su estructura interna. Algunos de estos comportamientos pueden llegar a presentarse desde su construcción, algunos otros durante lapsos de su vida útil y algunos otros pueden llegar a ser por causa de accidentes. Es por esto que, se debe poner atención a los diferentes síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura, tales como; manchas, cambios de color, fisuras, pérdidas de recubrimiento entre otros (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2017).

Los daños por durabilidad en la infraestructura han afectado las estructuras de concreto en su desempeño estructural y, en ocasiones, también tienen repercusiones económicas que son puntos clave para determinar la

rentabilidad de un proyecto. La filosofía del diseño por durabilidad se presenta como una herramienta y concepto tecnológico que bien aplicado, puede conducir a la industria de la construcción a tener un mejor desempeño, logrando con esto construir estructuras con mayor vida útil y menores costos de mantenimiento, con la finalidad de que la construcción participe en mayor medida en el desarrollo sustentable de nuestro país (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006).

3.1.1. Condiciones generales del sitio

Los diversos factores que influyen en la durabilidad y el mecanismo particular de deterioro deben ser considerados en el contexto de las condiciones ambientales a las que estaría sometido el concreto. Además, se debe considerar al microclima al que está expuesto el elemento estructural específico. El deterioro, o la gravedad de deterioro, de una estructura dada pueden ser afectados por su orientación al viento, la precipitación, o la temperatura. Los entornos de exposición esperados (macro y micro) deben determinarse antes de la definición de los materiales apropiados y las proporciones de mezcla necesarias para producir concreto adecuado para una aplicación particular (ACI 201.2R, 2008).

Para la realización de este trabajo, se tomaron en cuenta algunas de las condiciones más agresivas a las que se puede enfrentar el concreto a lo largo de su vida útil. Tales como, exposición de ambiente marino grado moderado, carbonatación, reacciones químicas de álcali-agregado, debido a la calidad de los agregados con los que se cuenta.

3.1.2 Selección de los materiales

Los agregados finos y gruesos, el cemento, las puzolanas y los aditivos químicos, deben ser adecuadamente almacenados dosificados y manejados

para mantener su calidad. Los agregados fino y grueso deben ser de buenas calidades libres de contaminación, uniformes en granulometría y libres de humedad (ACI 304, 2000).

El agregado grueso es el material comúnmente conocido como grava, que se retiene en el acriba con abertura de 4.75 mm (malla numero 4) y pasa totalmente por la criba con abertura de 75 mm (malla de 3 pulgadas) y cuya composición granulométrica varía entre límites especificados (NMX-111, 2014)

El agregado grueso debe cumplir con los límites granulométricos que establece la tabla siguiente:

Tabla 3.1 *Límites granulométricos del agregado grueso, en masa, en porcentaje que pasa*

Tamaño nominal, mm	100	90	75	63	50	37.5	25	19	13	9.5	No 4	No 8	No 16
(Pulg)	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4.75	2.36	1.18
90.0 a 37.5 (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
63.0 a 37.5 (2 1/2" a 1 1/2")	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
50.0 a 25.0 (2" a 1")	----	----	100	95	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----
50.0 a 4.75 (2" a No. 4)	----	----	100	100	95	35	0 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
37.5 a 19.0 (1 1/2" a 3/4")	----	----	100	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----

37.5 a 4.75 (1 1/2" a No. 4)	----	----	----	----	100	90 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----
25.0 a 12.5 (1" a 1/2")	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
25.0 a 9.5 (1" a 3/8")	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
25.0 a 4.75 (1" a No 4)	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----
19.0 a 9.5 (3/4" a 3/8")	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----
19.0 a 4.75 (3/4" a No 4)	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----
12.5 a 4.75 (1/2" a No 4)	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----
9.5 a 2.36 (3/8" a No 8)	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: *Industria de la construcción – agregados para concreto hidráulico – especificaciones y métodos de ensayo* (NMX-111, 2014).

Cuando se tengan agregados gruesos fuera de los límites indicados en la tabla anterior, se deben procesar o cambiar con otros de diferente distribución para que satisfagan dichos límites.

En el caso de aceptar que los agregados no cumplan con estos límites debe de ajustarse el proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias granulométricas, por lo tanto, debe demostrarse que el concreto elaborado tiene un comportamiento adecuado (NMX-111, 2014).

Los agregados gruesos deben tener un coeficiente volumétrico mayor o igual que 0.20. En caso de utilizar agregados con coeficiente volumétrico menor que 0.20, debe realizarse un estudio que muestre el impacto de su uso, y hacer los ajustes correspondientes en las mezclas de concreto, para satisfacer los requisitos de cohesión, trabajabilidad, módulo de elasticidad y contracción requeridos por el cliente (NMX-111, 2014).

El agregado grueso debe ser controlado para minimizar la segregación y el material de infratamaño. Un método práctico para reducir al mínimo la segregación en un agregado grueso es mediante la separación del material en fracciones de varios tamaños y dosificación de estas por separado. La granulometría de los agregados al mezclarse debe ser uniforme y dentro de los límites especificados. Los análisis granulométricos del agregado grueso se deben practicar con frecuencia para asegurarse que cumplan con los requisitos (ACI 304, 2000).

El agregado fino es el material comúnmente conocido como arena, que pasa por la criba con abertura de 9.5 mm (malla 3/8") y cuya composición granulométrica varía entre límites especificados (NMX-111, 2014).

El agregado fino debe cumplir con ciertos límites que a continuación se enlistan:

El módulo de finura debe estar comprendido entre los siguientes parámetros 2.30 y 3.10. El módulo de finura puede ser determinado con ensayos previos, de no existir estos, se puede determinar con el promedio del valor obtenido de los 10 primeros ensayos consecutivos o el promedio de los ensayos que haya cuando no se complete este número.

Estar dentro de los límites que se muestran en la siguiente tabla;

Tabla 3.2 *Límites de granulometría para agregado fino*

Criba mm (malla No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9.5 (3/8")	100

4.75 (No. 4)	95 - 100
2.36 (No. 8)	80 - 100
1.18 (No. 16)	50 - 85
0.600 (No. 30)	25 - 60
0.300 (No. 50)	10 - 30
0.150 (No. 100)	2 - 10

Fuente: *Industria de la construcción – agregados para concreto hidráulico – especificaciones y métodos de ensayo* (NMX-111, 2014)

- El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe ser mayor que 45%. Pueden aumentarse los porcentajes del retenido acumulado de la masa ensayada en las cribas 0.300 mm (malla No. 50) y 0.150 mm (malla No. 100) a 95% y 100%, respectivamente, siempre y cuando el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor que 240 kg/m³ para concreto con aire incluido, o mayor que 300 kg/m³ para concreto sin aire incluido o bien, añadiendo un cementante que supla la deficiencia de material que pasa por estas cribas.
- En el caso que los agregados que se pretendan emplear no cumplan con las tolerancias indicadas en los puntos anteriores, estos pueden usarse siempre y cuando existan antecedentes de comportamiento aceptable en el concreto elaborado con ellos, o que los resultados de los ensayos a estos concretos sean satisfactorios. Los agregados pueden usarse siempre que se haga un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría (NMX-111, 2014).

El agregado fino se debe controlar para reducir al mínimo las variaciones en la granulometría, manteniendo uniformes las fracciones más finas y teniendo cuidado de evitar la excesiva eliminación de los finos durante el proceso. Las cantidades excesivas de finos menores que la malla No. 200 aumentan el requerimiento de agua de mezclado, la velocidad de pérdida de

reventamiento, la contracción por secado y reducen la resistencia (ACI 304, 2000).

Cemento,

La selección de un cemento para un fin determinado por lo general no es difícil. En tal sentido es aconsejable utilizar siempre que se pueda un cemento de uso general (CPO, CPC o CPC), con la clase resistente requerida.

Existen características especiales que se deben considerar para la elección de los cementos, tales como;

- El contenido de sulfatos del terreno, la exposición al agua de mar, o a otros medios químicos agresivos.
- La reactividad de los agregados con los álcalis del cemento.
- Obras masivas de concreto en las que la temperatura pueda ocasionar agrietamientos por cambios térmicos.
- El color del concreto.

Es importante considerar que para elaborar una mezcla con el desempeño adecuado del concreto, es necesario; tomar en cuenta la capacidad requerida de carga y las condiciones de servicio del elemento a construir, definir el tipo y la cantidad de cemento, utilizar agregados de buena calidad, controlar la cantidad de agua utilizando la menor cantidad posible y mezclar en forma homogénea todos los materiales.

Se debe tomar en consideración que el cemento es un material que reacciona al contacto con el agua, por lo tanto se recomienda mantenerlo en un lugar cerrado, sin humedad y preferentemente seco. El no almacenar el cemento bajo las condiciones antes mencionadas, puede provocar que el cemento pierda sus propiedades originales y se vea afectado su desempeño (NMX-414, 2017).

Las aguas a las que se refiere la normativa (NMX-122, 2004), que se pretendan usar para la elaboración y curado del concreto hidráulico excluyendo de ellas las aguas de mar, deben cumplir los siguientes requisitos expresados en la siguiente tabla.

Tabla 3.3 Agua para la elaboración y curado del concreto hidráulico

Sales e impurezas	Cementos ricos en calcio Límites en p.p.m	Cementos Sulforesistentes límites en p.p.m
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50000	35000
Cloruros como CL (a)		
Para concretos con acero de preesfuerzo y piezas de puentes	400 (c)	600 (c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedos o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 (c)	1000 (c)
Sulfato como SO ₄ (a)	3000	3500
Magnesio como Mg ⁺⁺ (a)	100	150
Carbonatos como CO ₃	600	600
Dióxido decarbonato disuelto, como CO ₂	5	3
Álcalis totales como NA ⁺	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)

Valor de ph	No menor de 6	No menor de 6.5
-------------	---------------	-----------------

Fuente: *Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones* (NMX-122, 2004)

Las aguas que exceden los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesios, pueden emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no exceden dichos límites.

El agua de mar cuando sea imprescindible su empleo, se debe usar únicamente para la fabricación y curado de concretos sin acero. El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites, se puede utilizar si se demuestra que en concretos con características semejantes elaborados con esta agua han acusado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición (NMX-C-122-ONNCCE-2004).

El agua potable, es en la mayoría de los casos satisfactoria como agua de mezclado y este es el criterio de calidad que se especifica usualmente. Se debe conocer la presencia de impurezas dañinas como álcalis, ácidos, material vegetal en descomposición, aceite etc. El agua de calidad dudosa deberá ser analizada o bien, si no se dispone de tiempo, se deberá comparar la resistencia y durabilidad de especímenes hechos con dicha agua con las de especímenes de control hechos con agua que se sabe que es satisfactoria.

Acero de refuerzo, el refuerzo debe ser de varillas corrugadas, excepto espirales y alambre. El refuerzo debe ser de los grados tipos y tamaños requeridos por los documentos del contrato. Cuando se coloca el concreto, todo el refuerzo debe estar libre de materiales nocivos a la adherencia.

El acero para concreto hidráulico lo constituyen las varillas, alambres, cables, barras, soleras, ángulos, rejillas o mallas de alambre, metal desplegado u otras secciones o elementos estructurales que se utilizan dentro

o fuera del concreto hidráulico, instalados en ductos o no, para tomar los esfuerzos internos de tensión que se generan por la aplicación de cargas, contracción por fraguado y cambios de temperatura (Secretaría de Comunicaciones y Transportes , 2002).

3.1.3 Diseño de mezclas

El proporcionamiento de las mezclas de concreto, conocido también como diseño de mezclas, es un proceso mediante el cual se determina la cantidad correcta, cemento, agua, arena, grava y aditivos, para elaborar un concreto que cumpla con las características esperadas. También, uno de los propósitos de la mezcla es el obtener un producto que actúe de acuerdo a los requerimientos predeterminados, siendo los principales la trabajabilidad del concreto en estado fresco y la resistencia del concreto endurecido a una cierta edad, además de la durabilidad. En resumen se puede decir que el diseño de la mezcla consiste en seleccionar los ingredientes idóneos, entre los materiales disponibles y determinar la combinación más económica y que cumplan con las características mínimas de comportamiento requeridas (Flores, 2015)

Debido a las características ambientales del sitio y de los materiales descritos en los puntos anteriores del capítulo, se ha seleccionado el tipo de materiales con los cuales se puede obtener la mezcla adecuada para obtener un concreto con mayor durabilidad. Por lo que, seleccionó el cemento CPC 30R RS el cual es resistente a sulfatos para poder contrarrestar el ambiente marino al que va estar expuesta la estructura, también se requerirá que la densidad del agregado grueso sea grande, por lo que se optara para esta mezcla la implementación de caliza. Para diseñar una mezcla de concreto es necesario conocer las características físicas de los materiales a emplear en la elaboración del concreto por lo que se enlistan a continuación:

- Peso específico o densidad del cemento 3.15
- Módulo de finura de la arena 2.70
- Peso específico o densidad de la arena 2.36
- Absorción de la arena 5.28 %
- Humedad de la arena 6.00 %
- Peso específico o densidad de la grava 2.33
- Tamaño máximo de la grava 19 mm.
- Peso volumétrico de la grava 1,450 kg./m³
- Absorción de la grava 3.50 %
- Humedad de la grava 2.70 %

La dosificación se hace de la siguiente manera:

1. Apoyándonos en las tablas del Anexo A diseñaremos una mezcla de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de edad, de un revenimiento de 15 cm para permitir que sea bombeable, empleando un cemento Tipo CPC 30R RS.
2. Un tamaño máximo de la grava es de 19 mm (3/4").
3. Estimado de la cantidad de agua por m³. Para un concreto sin aire incluido, revenimiento de 15 cm., y tamaño máximo de grava de 19 mm (3/4"), en la tabla 6.3.3 del Anexo A con un valor de 216 kg/m³ de agua (l), el aire atrapado estimado aparece con un valor de 2.0 %.
4. En la tabla 6.3.4 (a) del Anexo A aparece con un valor de 0.61 de relación agua / cemento necesaria para producir una resistencia de 250 kg/cm² en concreto sin aire incluido.
5. En base a la información obtenida en los pasos 3 y 4 se concluye que el consumo de cemento es de $216/0.61 = 354.1 \text{ Kg/m}^3$ (redondeado a 354).
6. De la tabla 6.3.6 del anexo A estimamos la cantidad de grava: para un módulo de finura de 2.7%, un tamaño máximo de grava de 19 mm (3/4"), puede emplearse 0.63 metros cúbicos de grava, de tal forma que el peso de la grava es $1,450 \times 0.63 = 914 \text{ kg/m}^3$

7. Conociendo los consumos de agua, cemento y grava el material restante que completa un metro cubico de concreto debe consistir en arena y aire que pueda quedar atrapado.
8. En base al peso; de la tabla 6.3.7.1 del anexo A se estima el peso de un metro cubico de concreto sin aire incluido es de 2,345 kg, por lo tanto los pesos ya conocidos son;
 - a. Agua 216 kg
 - b. Cemento 354 kg
 - c. Grava 914 kg
 - d. Total 1,484 kg

Es por esto que, el peso de la arena puede estimarse como:

$$2,345 - 1,484 = 861 \text{ kg}$$

9. El método del peso requiere que por experiencia se conozca el peso del concreto por volumen unitario o bien, se puede suponer que el peso requerido de agregado fino es la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás ingredientes de la mezcla.
10. Un procedimiento más exacto para determinar la cantidad del agregado fino, implica conocer los volúmenes absolutos de los componentes. En este caso, la suma de los volúmenes de los demás componentes conocidos, se resta del volumen unitario del concreto para obtener el volumen del agregado fino, multiplicando el volumen determinado de la arena por su densidad se obtiene la cantidad de la arena.

En base al volumen absoluto; conocidas las cantidades de los materiales tenemos:

Tabla 3.4 *Volumen absoluto.*

Materiales	Peso	Densidad	Volumen
Agua	216	1	216
Cemento	354	3.15	112

Grava	914	2.33	392
Vol. Del aire	-----	-----	20
Total	1484		741

Fuente: *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alta resistencia*. Flores
(Flores Castro, 2015)

Volumen de arena requerido = $1,000 - 741 = 259$ l.

Peso de la arena que se requiere = $259 \times 2.36 = 611$ kg.

El siguiente paso es comparar los pesos por metro cúbico de concreto:

Tabla 3.5 *Pesos por metro cubico de concreto.*

Materiales	Basado en peso estimado	Basado en volumen absoluto
Agua	216	216
Cemento	354	354
Grava	914	914
Arena	861	611
Volumen de aire	20	20
Total en peso	2345	2095
Volumen total (l)		1,000

Fuente: *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alta resistencia*. Flores
(Flores Castro, 2015)

En la anterior tabla existen dos proporciones diferentes con volúmenes diferentes, pero en la práctica la que más se emplea es el diseño basado en volumen absoluto, ya que de este se parte el volumen que le asignemos.

Tabla 3.6 *Corrección por humedad y absorción*

Corrección por humedad y absorción

Proporción Base	Humedad		Absorción		Proporción Real	
	%	Kg	%	Kg		
Cemento	354				354.00	
Arena	611	6.0	+36.66	5.28	-32.26	615.40
Grava	914	2.7	+24.68	4.5	-41.13	897.55
Agua	216		-61.34		+73.39	228.05
Total	2095					2095

Fuente: *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alta resistencia*. Flores (Flores Castro, 2015)

La última columna sería la que indica las proporciones reales que debe tener nuestra mezcla para poder cumplir con las especificaciones y condiciones descritas antes de iniciar del diseño de la mezcla.

El anterior resultado está calculado en base a la resistencia requerida para el proyecto en específico, pero no contempla una de las características más importantes con las que debe de regirse actualmente el diseño de la mezcla, es decir la durabilidad del concreto. Debido a las distintas clases de exposición de acciones de deterioro a las que puedan estar sometidas las estructuras de concreto en y en base a la norma Mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2014 debido a las características del lugar donde se va ejecutar el proyecto, su clasificación pertenece a un 4b, es decir, que cuenta con ambiente marino grado moderado, el contempla un área rica en sales o costera, sin contacto con el agua, estructuras con influencia del aire marino en grado moderado, colocadas entre 3 km y 300 m de la línea costera.

Basados en la tabla 10 de la norma Mexicana (NMX-155, 2014) referente a los requisitos de durabilidad según la clase de exposición a acciones de deterioro del concreto, podemos determinar que:

- La resistencia a la compresión mínima debe ser de 300 Kg/cm²

- La relación agua/cemento debe ser de 0.45
- La permeabilidad al ion cloruro máxima debe ser de 2300 Coulombs
- Contenido de iones de cloro solubles en agua (% del peso del cemento). Para concreto premezclado es de 0.06. Para concreto reforzado 0.15.
- Tipo de cemento de acuerdo con (NMX-414, 2017) si existe ataque químico de agentes agresivos: RS
- Tipo de cemento de acuerdo con (NMX-414, 2017) si los agregados son reactivos o potencialmente reactivos.

Con lo antes descrito, se determina utilizar un cemento CPC 40 RS BRA para poder cumplir con las características para el diseño de un concreto en base a la durabilidad. Teniendo en cuenta estos datos y en base a que las características de los materiales son las mismas que el cálculo por resistencia, por ser el mismo sitio que en él se realizara proyecto, el siguiente paso es realizar el cálculo de la mezcla contemplando la durabilidad de los elementos.

- Peso específico o densidad del cemento 3.2
- Módulo de finura de la arena 2.70
- Peso específico o densidad de la arena 2.36
- Absorción de la arena 5.28 %
- Humedad de la arena 6.00 %
- Peso específico o densidad de la grava 2.33
- Tamaño máximo de la grava 19 mm.
- Peso volumétrico de la grava 1,450 kg./m³
- Absorción de la grava 3.50 %
- Humedad de la grava 2.70 %

La dosificación se hace de la siguiente manera:

1. Un tamaño máximo de la grava es de 19 mm (3/4").

2. En la tabla 6.3.4 (a) del Anexo A con un valor de 0.45 de relación agua / cemento que se requiere por durabilidad. Sería necesario elaborar un diseño de mezcla basado en Durabilidad y NO por un f'c en concreto sin aire incluido.
3. Apoyándonos en las tablas del Anexo A diseñaremos una mezcla de relación w/c=0.45, de un revenimiento de 15 cm para permitir que sea bombeable, empleando un cemento Tipo CPC 40 RS BRA.
4. Estimado de la cantidad de agua por m³. Para un concreto sin aire incluido, revenimiento de 15 cm., y tamaño máximo de grava de 19 mm (3/4"), en la tabla 6.3.3 del Anexo A con un valor de 216 kg/m³ de agua (l), el aire atrapado estimado aparece con un valor de 2.0 %.
5. En base a la información obtenida en los pasos anteriores se concluye que el consumo de cemento es de $216/0.45 = 480 \text{ Kg/m}^3$.
6. De la tabla 6.3.6 del anexo A estimamos la cantidad de grava: para un módulo de finura de 2.7%, un tamaño máximo de grava de 19 mm (3/4"), puede emplearse 0.63 metros cúbicos de grava, de tal forma el peso de la grava es $1,450 \times 0.63 = 914 \text{ kg/m}^3$
7. Conociendo los consumos de agua, cemento y grava el material restante que completa un metro cubico de concreto debe consistir en arena y aire que pueda quedar atrapado.
8. En base al peso; de la tabla 6.3.7.1 del anexo A se estima el peso de un metro cubico de concreto sin aire incluido es de 2,345 kg, por lo tanto los pesos ya conocidos son;

a. Agua	216 kg
b. Cemento	480 kg
c. Grava	914 kg
d. Total	1,610 kg

Es por esto que, el peso de la arena puede estimarse como:

$$2,345 - 1,610 = 735 \text{ kg}$$

9. El método del peso requiere que por experiencia se conozca el peso del concreto por volumen unitario o bien, se puede suponer que el peso requerido de agregado fino es la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás ingredientes de la mezcla.

10. Un procedimiento más exacto para determinar la cantidad del agregado fino, implica conocer los volúmenes absolutos de los componentes. En este caso, la suma de los volúmenes de los demás componentes conocidos, se resta del volumen unitario del concreto para obtener el volumen del agregado fino, multiplicando el volumen determinado de la arena por su densidad se obtiene la cantidad de la arena.

En base al volumen absoluto; conocidas las cantidades de los materiales tenemos:

Tabla 3.7 *Volumen absoluto.*

Materiales	Peso	Densidad	Volumen
Agua	216	1	216
Cemento	480	3.2	150
Grava	914	2.33	392
Vol. Del aire	-----	-----	20
Total	1610		778

Fuente: *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alta resistencia.* Flores
(Flores Castro, 2015)

Volumen de arena requerido = $1,000 - 778 = 222$ l.

Peso de la arena que se requiere = $222 \times 2.36 = 524$ kg.

El siguiente paso es comparar los pesos por metro cúbico de concreto:

Tabla 3.8 *Pesos por metro cúbico de concreto.*

Materiales	Basado en peso estimado	Basado en volumen absoluto
Agua	216	216
Cemento	480	480
Grava	914	914
Arena	735	524
Volumen de aire	20	20
Total en peso	2345	2134
Volumen total (l)		1,000

Fuente: *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alta resistencia.* Flores
(Flores Castro, 2015)

En la anterior tabla existen dos proporciones diferentes con volúmenes diferentes, pero en la práctica la que más se emplea es el diseño basado en volumen absoluto, ya que de este se parte el volumen que le asignemos.

Tabla 3.9 *Corrección por humedad y absorción*

Proporción Base	Corrección por humedad y absorción				Proporción Real	
	Humedad		Absorción			
	%	Kg	%	Kg		
Cemento	480				480	
Arena	524	6.0	+31.44	5.28	-27.67	527.77
Grava	914	2.7	+24.68	4.5	-41.13	897.55
Agua	216		-56.12		+68.8	228.68
Total	2134					2134

Fuente: *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alta resistencia.* Flores
(Flores Castro, 2015)

La última columna se indica las proporciones reales que debe tener nuestra mezcla para poder cumplir bajo las condiciones de relación agua/cemento de 0.45.

Tabla 3.10 *Comparativa entre volúmenes basados en resistencia y durabilidad*

Proporción Real		
Material	Resistencia 250 kg/cm²	Durabilidad relación agua/cemento de 0.45
Cemento	354.00	480
Arena	615.40	527.77
Grava	897.55	897.55
Agua	228.05	228.68
Total	2095	2134

Fuente: *Autoría propia*

Tabla 3.11 *Comparativa entre volúmenes basados en resistencia y durabilidad usando aditivo reductor de agua con el 15%*

Proporción Real		
Material	Resistencia 250 kg/cm²	Durabilidad relación agua/cemento de 0.45
Cemento	302.00	408
Arena	708.24	655.69
Grava	897.55	897.55
Agua	219.21	195.76
Total	2127	2157

Fuente: *Autoría propia*

3.2. Planeación del Colado de elementos estructurales

Aunque pueda sonar insignificante decirlo, pero se debe asegurar que la obra esté lista antes de ordenar el concreto. Es sorprendente la cantidad de veces que la obra no está lista. Debe existir un tiempo prudencial para inspeccionar las cimbras y moldes, los refuerzos y los equipos de colocación estrictamente sin tener la presión de saber que los camiones mezcladores ya están en camino o esperando. Una vez que la colocación de concreto ha comenzado, esta puede acelerarse (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

Antes de iniciar la colocación del concreto, la dosificación de cada una de las mezclas de concreto que se van a utilizar debe ser remitida por el productor del concreto premezclado o laboratorio de ensayos al contratista. Se debe estar seguro que todas las partes involucradas entiendan bien los requerimientos de las especificaciones (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

Una planeación anticipada debe asegurar una provisión adecuada y consistente del concreto. Se debe prever suficiente capacidad de colocación, de manera que el concreto se mantenga plástico y libre de juntas frías mediante se coloca. Todo el equipo para colocación debe estar limpio y en buen estado. Así mismo la mano de obra debe ser la suficiente como para asegurar la apropiada colocación, consolidación y acabado del concreto (ACI 304, 2000).

Con respecto a las jerarquías de responsabilidades el contratista la obra debe mantener informado al productor de concreto premezclado quien está autorizado para ordenar o hacer cambios en la programación. Se debe tener previamente una denominación específica para determinar cada mezcla así como los procedimientos para manejar cualquier problema en la

programación (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

Se debe realizar una inspección final detallada de los cimientos, juntas de construcción, cimbras, tapajuntas, refuerzo y otros detalles de la colocación del concreto antes de que se coloque. Es necesario desarrollar un método para documentar tal inspección y este deberá ser aprobado por todas las partes interesadas antes del comienzo del trabajo (ACI 304, 2000).

Antes de que arribe el primer camión a la obra y como indica la Sociedad Americana de Contratistas del Concreto (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011) se debe tener una planeación de cómo es que van a entrar y salir los camiones de la obra, donde esperan, retroceden y maniobrar en las que sea necesario. También se debe disponer de un lugar adecuado para lavar los camiones después de la descarga. Se deben tomar en cuenta también el espacio disponible, las condiciones del tiempo, los métodos de colocación del concreto y la demanda de volumen programado.

3.2.1. Juntas previas al colado

La mejor forma de prevenir y evitar problemas innecesarios en la obra es mediante una reunión previa al inicio de la construcción dedicada única y exclusivamente a la colocación del concreto. A estas juntas deben asistir el contratista, un representante del productor del concreto premezclado y un representante del laboratorio y un representante de la supervisión externa si fuera el caso (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

Algunos puntos del orden del día para la reunión previa al inicio de la construcción según la ASCC:

- Revisión de las dosificaciones de las mezclas.
- Confirmación del lugar donde se va colocar cada mezcla.

- Información que debe contener el recibo de despacho del concreto premezclado.
- Revisión de los ensayos en obra.
 - Frecuencia de los ensayos en obra.
 - Libertad de acceso del personal de laboratorio de ensayos de la obra para fabricar las probetas y la disponibilidad de una zona en la cual se puedan hacer los ensayos.
 - Tolerancia en la medición del revenimiento y el contenido de aire.
 - Discusión sobre la interpretación de los requisitos sobre la temperatura del concreto y el tiempo de despacho.
- Bases para rechazar una tanda de concreto:
 - ¿Con autorización de quién?
 - ¿Bajo qué circunstancias?
- Control de la adición de agua en la obra.
- Procedimiento para evaluar los ensayos de resistencia.
- Procedimiento a seguir después que un ensayo no cumple lo requerido:
 - Procedimientos de ensayo a utilizarse en la evaluación.
 - Criterios para su aceptación.
 - Asignación de los costos asociados.
- Listado de distribución de los resultados de los ensayos.
- Procedimiento de comunicación entre los involucrados.
- Colocaciones especiales de concreto (en volumen y programación).
- Potenciales cambios en los procesos de colocación.
- Disposición de los desperdicios.
- Alternativas en caso de emergencia.

Es de vital importancia que estos puntos mencionados deben estar ya incluidos en el contrato correspondiente (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

¿Por qué hay que efectuar una reunión previa la construcción?

Cada proyecto de construcción reúne a diferentes compañías, personal y procedimiento, que pueden no haber trabajado juntos con anterioridad. Las reuniones previas a la construcción son necesarias para solucionar los detalles de cómo debe ser ejecutado un trabajo, identificar los contactos autorizados para varios aspectos y que es lo que debe hacerse en caso de que las cosas no salgan según lo planeado. El iniciar un proyecto sin tener un claro entendimiento de las responsabilidades asignadas puede dar como resultado la realización de trabajos extras, pérdidas de tiempo y mayores costos (National Ready Mixed Concrete Association, 1998).

Para ayudar a evitar problemas durante la colocación del concreto, todas las partes involucradas en las operaciones de colocación deben de tener una reunión para establecer líneas claras de comunicación (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 1994).

3.2.2 Sistemas de colocación del concreto

Gran parte del tiempo que se invierte en la planeación de un proyecto se dedica a la selección del método más eficiente de colocación del concreto dentro de todos los métodos disponibles. Cuando la facilidad de acceso al punto donde se va colocar el concreto no es un problema, el método más económico y eficiente es depositar directamente del camión de premezclado (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

Un requisito básico en todo lo que se refiere al manejo del concreto es tanto la calidad como la uniformidad del concreto se deben conservar en términos de la relación agua /cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo se debe basar en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar mediante vibrado (ACI 304, 2000).

La selección del equipo es influenciada por el método de producción del concreto. Ciertos tipos de equipos, tales como cubetas, tolvas, carretillas, etc., serán mejor para producción intermitente, mientras que otros equipos como bandas transportadoras y bombas son más apropiados para producción continua.

- **Colocación del concreto desde el camión de premezclado**

El mezclado en camiones es un proceso por el cual los materiales de concreto previamente proporcionados desde una planta de dosificación, se carga en un camión de premezclado para el mezclado y se entrega al sitio de la construcción. A fin de obtener un mezclado completo, el volumen total absoluto de los ingredientes dosificados en un camión mezcladora de tambor giratorio no deberá exceder el 63 por ciento del volumen del tambor.

Las mezcladoras deben ser capaces de descargar concreto del revenimiento más bajo que llegare a requerir la construcción en la que se trabaja, sin generar segregación. Antes de ser descargado el concreto transportado en camiones/mezcladores, el tambor debe girar nuevamente a velocidad de mezclado por aproximadamente 30 revoluciones para mezclar posibles atascos en la mezcla, cerca del extremo de la descarga (ACI 304, 2000).

- **Carretillas para concreto**

Descargar el concreto primero en carretillas para luego depositarlo desde la carretilla, requiere más mano de obra que otros métodos y puede representar una desventaja cuando se requiere manejar un volumen grande de concreto. Las carretillas son más apropiadas en trabajos donde la distancia desde el punto de descarga hasta el lugar de colocación es corta. Dos ventajas de las carretillas son; las mezclas de concreto no necesitan ajustes especiales y hay pocas posibilidades de demoras debidas a los equipos y problemas de colocación (Siciedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

La distancia máxima de entrega horizontal recomendada para transferir el concreto por medio de carritos manuales de 60 m y para los motorizados de 300 m. los carritos manuales varían en capacidad desde 0.2 m³ con capacidad de colocación que varía de 2 a 4 m³ por hora. Los carritos motorizados están disponibles en tamaño de .03 m³, con una capacidad de colocación que va de 11 a 15 m³ por hora, dependiendo de las distancias recorridas (ACI 304, 2000).

- **Bandas transportadoras**

Al utilizar bandas transportadoras hay una limitación obvia para el revenimiento máximo del concreto (de 50 a 100 mm es lo recomendable). La pasta del cemento se separa del agregado si la mezcla está muy húmeda. Las bandas transportadoras son sistemas flexibles, existen unidades que se pueden ajustar a distintas alturas, inclusive girar 360 grados mientras se deposita el concreto. Las bandas transportadoras requieren mantenimiento diario durante su uso. Las tolvas, bandas y aspas tienen que limpiarse y además antes de su uso al día siguiente se debe probar por corto tiempo para verificar su correcto funcionamiento antes de la llegada del concreto (ACI 304, 2000).

- **Bombeo de concreto**

El concreto bombeado se puede definir como concreto transportado mediante presión a través de tubos rígidos o mangueras flexibles apropiadas. Este proceso puede ser empleado prácticamente en todas las contricciones de infraestructura carretera de concreto, pero es especialmente útil en donde el espacio o el acceso para el equipo de construcción son limitados. Las bombas de concreto por lo general están montadas en camiones o trailers.

3.3 Verificación de la calidad del concreto.

Aunque todos los trabajadores que intervienen en el proceso del colado del concreto conocen o deben conocer sus responsabilidades con respecto a la calidad, debe existir un sistema de control de calidad que incluya inspecciones. El número de personas dedicadas al control de calidad dependerá según sea el tamaño de la obra y de su complejidad. Debe existir personal apto que revise si el material que llega a la obra cumple con los requisitos y especificaciones del proyecto (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

El objetivo administrativo de primer orden en una compañía debe ser, desarrollar un plan escrito de control de calidad, incluyendo las partes de cada fase de un proyecto que son críticas para la calidad del mismo y cuándo y por quienes deben ser revisadas o inspeccionadas. El personal de control de calidad debe desarrollar un listado de verificación para las inspecciones (Sociedad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC, 2011).

Un trabajo con buen control de calidad representa un menor costo para el contratista y una mayor satisfacción para el propietario. La manera más confiable de lograr utilidades es haciendo las cosas bien desde un comienzo.

Los materiales de concreto y las operaciones se pueden probar e inspeccionar por el propietario o dependencia bajo de la cual este a cargo a medida que progresa la obra. La falla en detectar trabajos o materiales defectuosos no evitara el rechazo posterior cuando se descubra un defecto, ni debe obligar al Arquitecto/Ingeniero a una aceptación final. Los laboratorios que realicen las pruebas deberán ser aceptados por el Arquitecto/Ingeniero encargado antes de realizar cualquier trabajo. Las pruebas de campo del concreto requeridas deben hacerse por un técnico para pruebas al concreto en la obra grado I del ACI certificada o equivalente. Los programas de certificación equivalentes deben incluir requisitos para exámenes escritos y de desempeño (ACI 301, 2005).

Las pruebas al concreto fresco se deben realizar cuando el propietario o la dependencia a cargo de la obra lo requieran. Se debe revisar y hacer una contraprueba de los materiales propuestos para corroborar que cumplan con la documentación del contrato. Se obtendrán muestras de acuerdo con la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM-C-172) para el caso de México la normativa equivalente (NMX-161, 2013). Se deben seleccionar los camiones y las mezclas que han de ser probadas en una base aleatoria usando número al azar seleccionados antes de comenzar la colocación del concreto. Se debe obtener por lo menos una muestra mixta por cada 75 m³ o fracción de ella, de cada mezcla de concreto colocado en un día cualquiera. Cuando la cantidad total de una mezcla de concreto dada sea menor a 38 m³ pueden descartarse las pruebas de resistencia (ACI 301, 2005).

La normativa mexicana (NMX-161, 2013) indica que cuando el muestreo se realice en planta, se deben esperar 7 min a la velocidad de mezclado especificado para la unidad revolvente, antes de tomar la muestra. Realizar el despunte de 10 L mínimo y se procederá a tomar la muestra interceptando el flujo de la descarga del canalón con el recipiente, el cual puede ser cubeta, charola o carretilla con capacidad adecuada para contener el tamaño requerido de la muestra y no menor de 15 L.

Cuando el muestreo se realice en obra la normativa (NMX-161, 2013) indica que para verificar el revenimiento con la finalidad de aceptar o rechazar el concreto se debe tomar una muestra al inicio de la descarga, después de despuntar y verificar que el concreto esté homogéneo, se tomara la muestra interceptando con el recipiente totalmente el flujo de la descarga del canalón.

En la normativa (NMX-156, 2010) se establece el procedimiento para determinar la consistencia del concreto hidráulico en estado fresco mediante el método de ensayo conocido como revenimiento. En este se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 cm a 20 cm, es aplicable al

concreto fresco industrializado o hecho en obra con tamaño máximo nominal del agregado menor de 50 mm.

Para realizar la prueba de revenimiento se requiere un molde metálico o cualquier material no absorbente, no susceptible de ser atacado por la pasta de cemento. El molde debe ser rígido y tener la forma de un cono truncado de 20 cm de diámetro mayor, 10 cm de diámetro menor y 30 cm de altura. El molde puede estar provisto de abrazaderas en la parte inferior para sujetarlo a una base de material no absorbente. El sistema de sujeción debe ser tal que deba aflojar sin mover el molde. También se utiliza una barra de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, con uno o los dos extremos de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla (NMX-156, 2010).

El método de ensayo para poder obtener la muestra consiste en humedecer el molde, colocarlo sobre una superficie horizontal, plana, rígida húmeda y no absorbente. El operador debe mantenerlo firme en su lugar durante la acción de llenado. A continuación llenar el molde con 3 capas aproximadamente de igual volumen, la primera capa corresponde a una altura aproximada de 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura aproximada de 15 cm y la tercera, al extremo del molde. Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla introduciéndola por el extremo redondeado distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro (NMX-156, 2010).

Después de compactación de la última capa, enrasar el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla, limpiar la superficie exterior de la base de asiento, e inmediatamente levantar el molde con cuidado en dirección vertical. La operación para levantar completamente la altura del molde debe hacerse en 5 ± 2 s, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional. La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el molde, debe hacerse sin interrupciones y en

un tiempo no mayor a 2.5 min. Se debe medir inmediatamente el revenimiento, determinar el revenimiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo esta diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del espécimen. Si alguna porción del concreto se desliza o cae hacia un lado, se desecha el ensayo y se efectúa otra con nueva porción de la misma muestra.

Después de que el concreto haya sido aceptado, la muestra para los demás ensayos tomar entre el 15% y el 85% de la descarga, interceptando con el recipiente el flujo completo de descarga o desviando el flujo sin segregar el concreto. La velocidad de descarga debe controlarse con el número de revoluciones de la olla y no por la mayor o menor abertura de la compuesta.

Las muestras deben ser del volumen suficiente para realizar los ensayos programados pudiendo en todos los casos tomar varias porciones para generar la muestra compuesta adecuada que sea representativa del lote de concreto. La muestra debe ser transportada sin pérdida de material al lugar donde se efectúan los ensayos y se remezcla con el cucharón para asegurar que sea homogénea. El intervalo entre la obtención de la primera y la última porción de la muestra no debe exceder de 15 min. Una vez obtenida la muestra se debe proteger del sol, el viento, la lluvia y otras fuentes que provoquen una evaporación (NMX-161, 2013).

Se realizan pruebas de resistencia al concreto durante la construcción de acuerdo a los siguientes procedimientos;

- Moldear y curar un mínimo de tres cilindros de cada muestra, registrar cualquier desviación de los requisitos en el reporte de la prueba.
- Probar un espécimen a 7 días para información y un mínimo de dos especímenes a 28 días para la aceptación, a menos que se especifique otra cosa. Los resultados de la prueba de resistencia a compresión de dos especímenes probados a 28 días. Si un espécimen en una muestra exhibe evidencia de muestreo, moldeado o prueba inapropiados, eliminar el espécimen y considerar que la resistencia del cilindro

restante es el resultado de la prueba. Si todo los especímenes en una prueba muestran cualquier defecto, eliminar la prueba completa.

Cuando se permita o se especifique la prueba acelerada del concreto como una prueba estándar alternativa, moldear y curar dos especímenes de cada muestra mixta. Hacer al menos una prueba de resistencia acelerada de cada muestra compuesta y una prueba estándar a compresión a 28 días, para al menos cada dos pruebas no consecutivas de resistencia acelerada. Estos resultados deben usarse para mantener y actualizar la correlación entre la prueba de resistencia a compresión acelerada y la estándar a 28 días (ACI 301, 2005).

Para poder tener un mayor conocimiento de las características físicas del concreto que se va utilizar además de las pruebas antes mencionadas, se deben realizar algunas pruebas más al concreto estando en estado fresco y endurecido, para poder determinar el grado de cumplimiento con la normativa vigente o especificaciones del proyecto. Algunas de estas pruebas se enlistan a continuación:

- Para concreto fresco
 - Peso unitario y rendimiento
 - Contenido de aire
 - Elaboración de especímenes cilíndricos y vigas
 - Tiempos de fraguado
- Para concreto endurecido
 - Almacenamiento de cilindros en cuarto de curado y piletas
 - Cabeceo
 - Resistencia a compresión
 - Resistencia a flexión
 - Módulo de elasticidad
 - Esclerómetro
 - Núcleos de concreto

En este capítulo se abordó sobre la importancia que tiene tomar en cuenta las condiciones generales del sitio de los trabajos, así como de las características de los materiales para poder proponer un mejor diseño de mezcla enfocado más en la durabilidad de los elementos sin dejar de lado la resistencia, con el objetivo de disminuir las patologías a lo largo de la vida útil de los elementos de concreto. Aunque no solo basta con un buen diseño y que los materiales sean de buena calidad, también se requiere que el proceso y el personal se encuentre capacitado para evitar prácticas incorrectas. Por eso en el siguiente capítulo abordaremos sobre las prácticas deficientes y su posible mitigación.

CAPÍTULO 4. PRÁCTICAS DEFICIENTES EN LOS PROCESO DE COLADO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN PUENTES Y SU MITIGACIÓN

Las imperfecciones y resultados insatisfactorios en la construcción con concreto frecuentemente se deben a la preparación inadecuada del trabajo. La supervisión cuidadosa de las etapas previas a la colocación del concreto es crítica para asegurar que se obtengan los resultados adecuados (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 1994).

Cuando el personal o mano de obra que intervienen en la ejecución de la obra no cuenta con la capacitación adecuada o los conocimientos básicos de los procesos constructivos, aunado a una mala supervisión por parte del personal técnico encargado de la obra lo más probable es que estos trabajos terminen siendo de mala calidad, retrasen el tiempo en el que se tenía planeada la entrega y que represente un mayor gasto. Es por eso que en este capítulo abordaremos sobre las malas prácticas y deficiencias que generan un concreto poco durable o que propician patologías que pudieron ser evitadas teniendo un buen control y planeación en los procesos previos, durante y después de la colocación del concreto.

También se abordara la manera en cómo se pretende mitigar la presencia de patologías en el concreto en base a la disminución de las malas prácticas durante el proceso constructivos, principalmente el proceso del colado de elementos estructurales, para mejorar la durabilidad de las estructuras mediante un perfeccionamiento constante desde la planeación, como en la capacitación del personal que se ve involucrado en el proceso constructivo.

4.1. Deficiencias y baja efectividad al no seguir especificaciones de los proyectos

Tradicionalmente el desempeño de la industria de la construcción se ha caracterizado por deficiencias y baja efectividad desde la etapa de la planeación de la obra. En México generalmente se invierte poco en la elaboración de proyectos confiables debido a la mala información que contienen, lo cual llega ocasionar sobrecostos, re-trabajos, vicios ocultos e incluso pérdidas para quienes realizan las obras (Lamprea, 2019).

A demás de tener una planificación efectiva para el desarrollo del proyecto, es importante poder identificar los riesgos que consigo lleva su ejecución, contemplar los factores externos que no pueden ser controlados. Es por esto, que la ejecución debe ser supervisada y valorada constantemente corroborando que se cumpla lo estipulado en proyecto.

Enfocándome a proyectos de obra pública, que es donde me he visto más involucrado, me he podido dar cuenta, que lo que busca las entidades gubernamentales o secretarías, para seleccionar una empresa o contratistas para llevar a cabo la ejecución de los proyectos, es ajustarse a un presupuesto base, que en la mayoría de veces lo que se hace es tomar conceptos de algún otra obra e incrementar sus precios en un determinado porcentaje, sin hacerse un análisis detallado y actualizado de precios. Desde esta parte ya se inició mal el proyecto, porque las empresas participantes aunque hayan realizado perfectamente su análisis de precios, si este excede el que la entidad gubernamental requiere a partir de su presupuesto base, practicante queda descalificado para realizar el proyecto.

Aunque también se requiere hacer el análisis y selección de las empresas en base a la experiencia y ejecución de obras similares y que estas hayan sido realizadas satisfactoriamente, el factor que tiene una mayor importancia para decidir y seleccionar a la empresa que ejecutara los trabajos se encuentra en

quien puede realizar la misma cantidad de obra en el mismo tiempo estipulado en las bases de concurso, pero con la menor cantidad de recurso.

Debido al esquema de contratación directa o favorecida basada en preacuerdos y competencia desleal (Lamprea, 2019), es que las empresas aunque cumplan con una mayor experiencia y un presupuesto justo y mejor elaborado, no ganan las licitaciones debido a que no existe un parámetro o instancia que asegure que el presupuesto que la entidad gubernamental está entregando en las bases de concurso se encuentre actualizado.

En algunos casos las empresas llegan a presentar presupuestos más económicos con el afán de ganar la licitación. Esta decisión puede resultar contraproducente, debido a que para poder cumplir con la realización de los trabajos satisfactoriamente se ven afectados otros rubros; no se cumple con los materiales indicados en proyecto, la plantilla de trabajadores se ve disminuida, la experiencia del personal técnico es mínima o nula y por ende la calidad de los trabajos va a la baja, al igual que la vida útil de los elementos que se construirán.

4.1.1. Mejoramiento en la selección de materiales componentes del concreto.

El deterioro es la degradación de los atributos de un material, de un elemento constructivo y de un sistema constructivo. La degradación es la pérdida de propiedades y características en el tiempo, así la durabilidad es un principio de diseño en la ingeniería y construcción. Los concretos constituidos con materiales apropiadamente proporcionados y bien consolidados, aseguran la durabilidad de las construcciones.

Para poder obtener un concreto con las características deseadas, el primer paso consiste en la selección de los materiales componentes y el

segundo es un proceso llamado proporcionamiento de mezcla, por medio del cual se llega a la combinación correcta de componentes (Flores Castro, 2015).

La calidad de los agregados tanto gruesos como finos es de gran importancia. Debido a que, por lo menos tres cuartas partes del volumen de del concreto está constituido por agregado. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto (Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2017).

Al seleccionar los agregados se puede llegar a encontrar sustancias perjudiciales tales como; impurezas, que intervienen en el proceso de hidratación del cemento, recubrimientos que impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, y algunas partículas individuales que son en sí mismas débiles o inestables (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013).

Los agregados pueden ser total o parcialmente dañinos, debido a las reacciones químicas que ocurren entre el agregado y la pasta de cemento. La reacción más común es la que ocurre entre los componentes activos de la sílice de los agregados y los álcalis del cemento. Como resultado se forma un gel de álcali-silicato, ya sea en planos débiles o en poros del agregado. Esto puede destruir la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento hidratado que lo rodea (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013). Casi nunca se contempla que estos tipos de reacciones pueden llegar a presentarse en nuestras mezclas.

Cuando los elementos a colar se encuentran en zonas accesibles, lo recomendable es realizar los colados con concretos premezclados para tener un mejor control en la calidad de los materiales y evitar reacciones que perjudican los elementos estructurales. En el caso de no ser posible por las condiciones del sitio o la accesibilidad, y el concreto deba hacerse en el sitio,

se deberá tener mayor cuidado en la selección de los materiales que se ocuparan.

También la calidad del agua desempeña un papel importante, ya que las impurezas que pueda presentar, pueden llegar a interferir con el fraguado del cemento, afectar adversamente la resistencia del concreto y también puede llegar a conducir a la corrosión del refuerzo (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013). Por eso es importante realizar los análisis pertinentes para evitar problemas que puedan afectar a las estructuras posteriormente.

El concreto generalmente es muy resistente a los ataques químicos, siempre que se utilice una mezcla adecuada y el concreto este compactado de forma correcta. Aunque, el concreto que contiene cemento portland, al ser altamente alcalino, no es resistente al ataque de ácidos. Por esto, a menos de que se proteja, el concreto no se deberá emplear cuando esta forma de ataque pueda ocurrir (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2013). Debido a lo antes mencionado, es importante la selección del tipo de cemento adecuado para evitar reacciones adversas que puedan debilitar las estructuras donde se utilizara ese concreto.

La obtención de alguna propiedad especial en el cemento, puede conducir a características indeseables en otros aspectos, Para propósitos básicos de selección de un cemento portland adecuado, es útil considerar una clasificación en base a la propiedad física o química, tal como una rápida ganancia de resistencia, baja evolución del calor de hidratación, o resistencia al ataque de sulfatos.

Cuando no se tiene certeza de las propiedades de los materiales que se van a utilizar, es de suma importancia contemplar las consecuencias que pueden traer consigo. El no conocer las características y las reacciones químicas que puedan llegar a tener al contacto con otros materiales o bajo las condiciones del sitio donde se vayan a ejecutar los trabajos, pueden traer repercusiones en la composición del concreto a mediano o largo plazo.

En el ámbito de la construcción es común que las empresas encargadas de las obras lleguen a utilizar materiales distintos a los especificados en proyecto, por tratar de reducir gastos para poder obtener una mayor utilidad. Todo esto sumado a que si la supervisión de los trabajos no tiene personal calificado para cerciorarse de la calidad de los materiales, lo más probable es que cometan errores que pueden repercutir con el paso del tiempo en la calidad de los trabajos y durabilidad del elemento construido con este concreto.

4.1.2 Competitividad de la mano de obra implicada en el proceso constructivo.

El uso de buenos materiales y una dosificación de mezclas adecuada no asegurarán necesariamente un concreto durable. Medidas adecuadas de control de calidad, pruebas, inspección, prácticas de colocación, y mano de obra son esenciales para la producción de concreto duradero (ACI 201.2R, 2008).

Durante la construcción, la inspección la debe llevar acabo un ingeniero competente, preferiblemente aquel que produjo el diseño o alguno que represente directamente al ingeniero de diseño. Las principales funciones del inspector o supervisor con relación a la calidad de los materiales son el muestreo, el examen y el ensayo en campo de materiales, el control de la dosificación del concreto, la inspección del proporcionamiento, el mezclado, el transporte, el vaciado, compactación y el curado. Se debe hacer énfasis en la importancia de un inspección intensa para lograr una calidad adecuada de la estructura terminada (Nilson, 2001).

En la práctica cualquier persona que sea responsable de alguna fase de producción y colocación del concreto debe familiarizarse con los detalles con mucha más profundidad (Nilson, 2001). El problema con la industria de la

construcción es que el aprendizaje de cierta actividad y su continuidad se ven limitados debido a la constante movilización del personal. En cada proyecto nuevo que se desarrolla es muy difícil poder tener al mismo equipo de trabajo, en especial cuando las distancias entre el lugar de los trabajos y en el que radica el personal quedan muy retirados uno de otro.

A nivel mundial la mano de obra del sector de la construcción es la de menor incremento de productividad en los últimos 20 años. Aportando a la economía mundial un crecimiento apenas del 1% (Lamprea, 2019).

Al tener en los proyectos datos reales de rendimientos de mano de obra y de los problemas más comunes que lo afectan, se busca aumentar la productividad del personal, reducir tiempos de ejecución del proyecto y a la vez los costos. Resulta importante conocer y cuantificar los factores que afectan directamente la mano de obra para poder:

- Aumentar el conocimiento de la mano de obra y de su situación como ser humano dentro de la obra, así como su desempeño en el trabajo.
- Generar el conocimiento de la productividad actual de los proyectos
- Crear estrategias de mejora para aumentar la productividad a partir del recurso humano que estén dirigidas desde la gerencia de la obra.
- Mejorar las condiciones de trabajo de todos los participantes dentro de la obra (Gómez Cabrera & Morales Bocanegra, 2016).

En la actualidad hay una exigencia de contar con personal altamente calificado e idealmente certificado por alguna institución de carácter oficial. Bajo este contexto nació el programa integral de certificación de la ejecución de la obra pública, cuyo objetivo es homologar los criterios de control técnico y documental.

La Cámara Mexicana de la Industria de la construcción conociendo las siguientes circunstancias;

- La ley de obra pública no considera un grado de estudios o preparación para sus tres actores principales (residente, superintendente y supervisor).
- Los nuevos funcionarios que llegan a ocupar puestos relacionados con la obra pública, y los supervisores y contratistas no conocen el manejo de la bitácora electrónica.
- La industria de la construcción cuenta con más operadores de software que analistas de precios unitarios.
- Los servidores públicos y empresas no saben atender auditorías de obra pública.
- Los funcionarios que administran recursos municipales no tienen los conocimientos suficientes para realizar su labor.
- El gobierno federal ha decidido incluso entregar los recursos directamente a los ciudadanos, con la supervisión directa de las autoridades municipales, estatales y federales.

Debido a estas circunstancias y pensando en la preparación integral de los profesionales de la industria, cuenta con certificaciones avaladas por la secretaria de Educación Pública que pretenden ayudar a resolver problemas actuales en temas de obra pública y privada. (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 2019).

La tendencia que se está desarrollando en la industria de la construcción es que los inversionistas, dueños de constructoras y gobierno soliciten a los ingenieros y arquitectos tengan una certificación que los respalde, así como los técnicos que controlan la calidad del concreto y los supervisores que aseguran la calidad de la construcción para tener mejores obras.

Quienes se certifican suelen ser profesionistas capacitados, con experiencia, habilidades y conocimiento, que pueden realizar adecuadamente

su trabajo y contribuyen al mejor desarrollo del país. Los programas de certificación del American Concrete Institute (ACI) están dirigidos a todo el personal relacionado a la industria de la construcción. El uso de las especificaciones y normas internacionales hace que se necesite de personal capacitado para realizar las pruebas y garantizar que los concretos cumplan con las especificaciones que se requieran en cada proyecto.

4.2. Repercusiones en los proyectos generadas por malas prácticas

La planificación deficiente es provocada muchas veces por la necesidad de lo inmediato a menudo se enfatiza en aspectos que no son fundamentales para el cumplimiento de los objetivos generales del proyecto. Otro problema muy recurrente en el ámbito de la construcción, es querer realizar los trabajos sin tener un proyecto definitivo. Recaemos nuevamente a las malas prácticas.

Más del 92% de las empresas del sector de la construcción inician la ejecución de proyectos sin tener proyectos ejecutivos definitivos, lo que implica hasta un 50% de incertidumbre en la finalización a tiempo de sus obras y un sobrecosto que ronda por encima de un 10% en el mejor de los casos (Lamprea, 2019).

Otra mala práctica que afecta directamente en la calidad y durabilidad de los trabajos realizados es la corrupción. En el ramo de la construcción es uno de los principales que se ve afectado por la evidente corrupción en el sector. La desviación promedio es de hasta 140% del costo original del proyecto según la Auditoría Superior de la Federación.

En general cualquier tipo de proyecto de construcción alrededor del mundo se puede ver afectado por atrasos, sobrecostos, modificaciones en su diseño o en su ejecución. De acuerdo con la Auditoría superior de la federación, México tiene problemas en la contratación de obra pública debido

a aspectos como planeación incompleta, insuficiencia técnica, problemáticas económicas y problemas de ejecución (IMCO, 2018).

Una planeación deficiente, el inicio de proyectos sin estar liberados en su totalidad y la corrupción son de las principales prácticas que más causan estragos en la construcción. Las repercusiones en los elementos estructurales en su mayoría suelen ser grades, la vida útil de los elementos se ve disminuida, ya que al haber otros factores donde se desvía el recurso por la corrupción, un mayor gasto por la mala planeación e incremento del tiempo de ejecución, se terminan utilizando materiales que no cumplen con la calidad requerida en proyecto y tampoco se cumple con la capacidad de mano de obra requerida. Dando como resultado una baja calidad en los trabajos, que con el tiempo genera reducción en la durabilidad de las estructuras, con lo cual no se cumpliría con las especificaciones que el proyecto requiere.

4.3. Mitigación de prácticas deficientes en el proceso constructivo del colado de elementos estructurales

Para poder obtener los resultados esperados en la elaboración de elementos estructurales de concreto, es necesario erradicar todo tipo de prácticas que disminuyan la productividad y la eficiencia de los trabajos implicados en el proyecto. Esto abarca desde la planeación y trabajos previos, hasta los mantenimientos que se le deben dar a los elementos ejecutados para prevenir o corregir deterioros a través del tiempo.

El reducir las deficiencias implicadas en el proceso constructivo del colado y en general en los procesos referentes al ámbito de la construcción es un tema complejo, por lo menos en nuestro país, debido que se han vuelto tan recurrentes este tipo de deficiencias que los que nos vemos involucrados en los procesos, lo tomamos como algo normal y no se le da la debida importancia.

Otra parte importante en el proceso constructivo es la comunicación efectiva que debe existir entre los implicados, es decir, proyectista, constructor, supervisor y obrero. Al haber una buena comunicación y transmitirse las indicaciones y el conocimiento es menos probable que se realice mal la ejecución de los trabajos.

Para lograr reducir practicas deficientes, se debe tener una mejora constante en la planeación, tener claros los objetivos que se deben cumplir en cuanto a tiempo dinero y calidad que requiere el proyecto. La falta de planeación es una de las causas más determinantes en las deficiencias de la superficie del concreto, así que una planeación detallada se puede considerar como una de las mejores soluciones para los defectos en el concreto. La planeación es tan importante como los materiales y los procedimientos (Figueroa & Palacio, 2008).

Al examinar un mejor diseño de mezclas que se encuentre basado en la durabilidad, además de cumplir con la resistencia requerida por proyecto, deber ser complementado en obra con personal capacitado, con un mayor conocimiento de los procesos, y de las repercusiones que pueden llegar a tener si no se cumplen conforme lo indicado en la normativa que lo rige. Todo esto sin omitir procesos por mínimos que parezcan.

Conclusiones

Debido a la importancia de los puentes de concreto en la infraestructura carretera, es necesario garantizar su correcto funcionamiento y reducir al mínimo la aparición de patologías generadas tanto por la propia composición del concreto, como de los agentes naturales externos.

La correcta selección de los materiales que conforman el concreto así como su adecuado manejo en el colado, deben ser cuidadosamente supervisados por personal técnico certificado para garantizar que las propiedades del concreto no presenten algún cambio físico o químico en sus características durante el proceso constructivo y posteriormente evitar la aparición de patologías con el paso del tiempo.

Conjuntamente con la selección de materiales de buena calidad, debe considerarse un diseño de mezclas de concreto que mejore el desempeño de del concreto y las condiciones de servicio de los elementos en un puente. Este diseño dependerá en gran medida de las condiciones del sitio de los trabajos, de los agentes agresivos que se puedan presentar y del intemperismo al que se someterá la estructura una vez construida. Este diseño de mezcla se debe basar en una buena relación agua/cemento. La resistencia que presentara la estructura puede que sobrepase la requerida para el buen funcionamiento de la estructura, pero lo que se busca con este tipo de mezclas es que los elementos de concreto sean resistentes a los ataques agresivos a los que serán expuestos.

Mientras no se erradiquen las malas prácticas en la administración de los recursos, y no se considere en los proyectos un presupuesto mayor para la planeación, de poco puede servir tener el mejor diseño de mezclas y disponer del personal más calificado para realizar los trabajos, si en últimas instancias no se tienen los recursos suficientes para cumplir con la calidad que requieren los trabajos.

Recomendaciones

El personal que se ven involucradas en la proyección de los trabajos en gabinete, también debe tener participación en la ejecución de los trabajos en campo para poder garantizar que lo que se planteo sea lo que se vea ejecutado.

En la actualidad contamos con todas la herramientas tanto bibliográficas como tecnologías para poder elaborar un buen proyecto ejecutivo, tener un buen control en obra y una mejor supervisión de los trabajos. La información la tenemos, los limites los ponemos nosotros.

Se debe tener una constante capacitación y certificación de la mano de obra, así como una mayor y efectiva consulta en los códigos y normativas para poder conseguir obras de mejor calidad y mayor perdurabilidad.

Tener amplio conocimiento del sitio donde se va a construir un puente, contar con estudios previos de mecánica de suelos, identificar el tipo de suelo, impacto que tendrá el proyecto en el medio ambiente medioambiente (manifestación de impacto ambiental), tipo de tráfico.

Involucrar a Diseñador, Estructurista o Calculista, DRO, Supervisor, Constructor, Proveedor y elaborar una buena especificación o un buen proyecto ejecutivo.

implementar programas de certificación ACI tales como; supervisor especializado en obras de concreto, técnico para pruebas al concreto en la obra – grado I, técnico en acabados (terminados) de superficies planas de concreto, técnico en pruebas de resistencia para el concreto, técnico en pruebas para agregados – nivel 1, supervisor y técnico de construcción TILT-UP, técnico para pruebas en el laboratorio – nivel 1, técnico para pruebas en el laboratorio – nivel 2, certificaciones que constan pruebas ASTM y sus equivalentes en NMX, para el personal; Supervisores, Laboratoristas,

Técnicos, y otros. Todo esto para garantizar la calidad en los trabajos a ejecutar.

Referencias

- ACI 201.2R. (2008). Guía de concreto duradero . *American Concrete Institute*, 1-49.
- ACI 301. (2005). Especificaciones para Concreto Estructural. *American Concrete Institute*, 1-59.
- ACI 304. (2000). Guía para la medición, Mezclado, Trnasporte y Colocación del Concreto. *American Concrete Institute*, 4-64.
- ACI 318S. (2014). Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural y Comentarios. *American Concrete Institute*, 1-95.
- ACI 347. (2004). Guía para el diseño, construcción y materiales de cimbra para concreto. *American Concrete Institute*, 1-48.
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. (1 de Noviembre de 2019). *Certificación clave en materia de obra pública*. Obtenido de Revista Mexicana de la Construcción: <https://www.cmic.org/certificacion-clave-en-materia-de-obra-publica/>
- Cementos de México. (2017). Manual del usuario del concreto profesional . *Centro de tecnología cemento y concreto*, 8-69.
- Coordinación General de Planeación y Centros SCT y la Dirección General de PLaneacion. (2001). *Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2001-2006*. México, Distrito Federal: Secretaria de Cpmunicaciones y Transportes.
- Figueroa, T., & Palacio, R. (2008). PATOLOGÍAS, CAUSAS Y SOLUCIONES. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA*, 121-130.
- Flores Castro, L. (2015). *Diseño de mezclas de concreto normal y fluido de alra resistencia*. México: Independiente .
- Gómez Cabrera, A., & Morales Bocanegra, D. C. (2016). Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra. *INGE CUC, vol. 12*, 21-31.
- Gómez Soberón, C., Barrera Bautista, L. A., & Miranda Cid, D. (2006). METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD DE PUENTES BASADA EN PROCEDIMIENTOS DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. APLICACIÓN A PUENTES CARRETEROS DEL PACÍFICO. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, 1-14.
- Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. J. (2006). Durabilidad e infraestructura. *Ingeniería. Investigación y Tecnología, vol. VII, núm. 1, enero-marzo.*, 57-70.
- IMCO. (13 de Marzo de 2018). *CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍTICA PÚBLICA*. Obtenido de INEFICIENCIA Y RIESGOS DE CORRUPCIÓN EN OBRA PÚBLICA: CASO DE ESTUDIO DEL TREN

INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA: <https://imco.org.mx/ineficiencia-riesgos-corrupcion-obra-publica-caso-estudio-del-tren-interurbano-mexico-toluca/>

- Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto. (2013). Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1. *Proporcionamiento de Mezclas*, 7-47.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2009). El concreto en la obra, problemas, causas, y soluciones. *Concreto hidráulico para su uso estructural*, 67-71.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2013). *Tecnología del Concreto*. México: IMCYC.
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (1994). Manual para suervisar obras de concreto. En ACI-311, *Capitulo 8 Inspecciones antes de la colocación del concreto* (págs. 117-128). Ciudad de México: American Concrete Institute.
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (2004). Transportación y colocación del concreto. *Conceptos basicos del oncreto*, 36-39.
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (2005). Compactando el concreto. *Conceptos básicos del concreto*, 35-38.
- Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. (2017). Durabilidad y Patología en el Concreto. *Cosntrucción y Tecnología en el Concreto*, 15-17.
- Lamprea, E. H. (2019). Sinergia LEAN-BIM-IPD. *Sinergia LEAN-BIM-IPD* (págs. 2-65). Puebla: Lean Construction Institute México.
- LOVE, T. (2006). *El concreto en la construcción*. México: Trillas .
- Merritt, F., Loftin, M., & Ricketss, J. (2008). *Manual del ingeniero civil*. U.S.A: McGraw-Hill.
- National Ready Mixed Concrete Association. (1998). ¿Qué, por qué y cómo? Reunion Previa a la Cosntruccion . *NRMCA*, 1-2.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Santafé de Bogota, Colombia.: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- NMX-111. (2014). Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidraulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo. *Norma Mexicana NMX-C-111-ONNCCE-2014*, 2-19.
- NMX-122. (2004). NMX-C-122-ONNCCE-2004. *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AGUA PARA CONCRETO - ESPECIFICACIONES*, 2-8.
- NMX-155. (2014). Industria de la Construcción - Concreto hidraulico -Dosificación en masa - Especificaciones y metodos de ensayo. *Norma Mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2014*, 1-40.

- NMX-156. (2010). Industria de la Cosntrucción - Concreto Hidraulico - Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco. *Norma Mexicana NMX-C-156-ONNCCE-2010*, 2-6.
- NMX-161. (2013). Industria de la Cosntrucción - Concreto Fresco - Muestreo. *Norma Mexicana NMX-C-161-ONNCCE-2013*, 1-5.
- NMX-414. (2017). Industria de la Construcción - Cementantes Hidraulicos - Especificaciones y Merodos de Ensayo. *Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017*, 2-16.
- Normativa SCT. (2004). *N-CTR-CAR-1-02-003/04 Normativa Para la Infraestructura del Transporte*. México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- Quiroz Ramírez, A., & Ayala Milián, G. (2005). REHABILITACIÓN SÍSMICA DE PUENTES CARRETEROS. *Instituto de Ingeniería, UNAM*, 1-12.
- Reglamento de la Ciudad de Mexico NTC CDMX. (15 de Diciembre de 2017). Normas Tecnicas Complementarias. *Normas Tecnicas Complementarias*. Ciudad de Mexico, Ciudad de Mexico, México: Corporación Mexicana de Impresión, S.A. de C.V.
- Rivera Vargas, D., López Velázquez, O., & Estrada Molina, A. (2012). ESQUEMAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PUENTES DE CONCRETO. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, 1-21.
- Secretaria de Comunicaciones y Transportes . (2002). Acero para Concreto Hidraulico . *N-CTR-CAR-1-02-004/02*, 1-13.
- Sicidad Americana de Contratistas del Concreto - ASCC. (2011). *Guia del contratista para la construcción en concreto de calidad*. St. Louis: Anerican Concrete Institute.
- Tadeu Mascia, N., & Lenz Sartorti, A. (2011). Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26, 05-24.
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón. *Origen y prevención Ciencia y Sociedad*, 72-114. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87029104>.
- Torres Acosta , A. A., & Martínez Madrid , M. (2001). Diseño de Estructuras de Concreto. *SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES PUBLICACIÓN TÉCNICA No 181*, 1-77.

Anexos A

TABLA 6.3.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Revenimiento, cm.	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas.	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos.	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

*Pueden incrementarse en 2.5 cm. Cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

Fuente: *Proporcionamiento de mezclas* (Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto, 2013)

TABLA 6.3.3 requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ concreto para TMA, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aprox. Aire atrapado en %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.02
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición, en %								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: *Proporcionamiento de mezclas* (Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto, 2013)

TABLA 6.3.4 (a) correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm ²	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: *Proporcionamiento de mezclas* (Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto, 2013)

TABLA 6.3.4 (b) Relación agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo.	Estructura expuesta al agua de mar o sulfatos
Secciones esbeltas y secciones con menos de 3 cm	0.45	0.4
Todas las demás estructuras	0.5	0.45

Fuente: *Proporcionamiento de mezclas* (Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto, 2013)

TABLA 6.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: *Proporcionamiento de mezclas* (Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto, 2013)

TABLA 6.3.7.1 Cálculo tentativo del peso del concreto fresco

Tamaño máximo de agregados, mm	Cálculo tentativo del peso del concreto, kg/m ³	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5 (3/8")	2280	2200
12.5 (1/2")	2310	2230
19 (3/4")	2345	2275
25 (1")	2380	2290
37.5 (1 1/2")	2410	2350
50 (2")	2445	2345
75 (3")	2490	2405
150 (6")	2530	2435

Fuente: *Proporcionamiento de mezclas* (Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto, 2013)