



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA
USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM
C1202; UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO**

Hanz Abraham Pérez Calderón

Asesorado por el Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría

Guatemala, abril de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA
USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM
C1202; UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HANZ ABRAHAM PÉREZ CALDERÓN

ASESORADO POR EL ING. WUILLIAN RICARDO YON CHAVARRÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

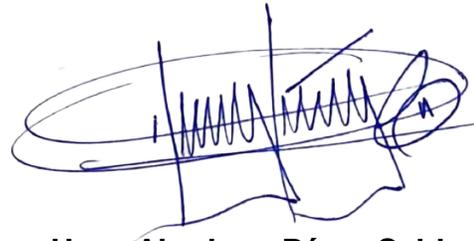
DECANA	Inga. Glenda Patricia García Soria (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM C1202, UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha febrero de 2020.



Hanz Abraham Pérez Calderón

Guatemala, 17 de febrero de 2021

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Montenegro:

Reciba un cordial saludo.

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado al estudiante **HANZ ABRAHAM PÉREZ CALDERÓN**, con carné **200217406** en el trabajo de graduación "**PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM C1202; UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO**", y habiendo determinado que se alcanzan los objetivos trazados, considero que el mismo satisface los requisitos necesarios para ser aprobado.

Sin otro particular, y agradeciendo su atención a la presente, me suscribo.


Wuillian Ricardo Yon Chavarría
INGENIERO CIVIL
COL. No. 2029

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Asesor



Guatemala, 19 febrero de 2021

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes,

Le informo que he revisado el trabajo de graduación "PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM C1202; UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Hanz Abraham Pérez Calderón, quién contó con la asesoría del Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador del área de Materiales de Construcción y obras civiles





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco al trabajo de graduación del estudiante Hanz Abraham Pérez Calderón **PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM C1202; UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, abril 2021

/mrrm.



DTG. 136.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PERMEABILIDAD DEL CONCRETO, ELABORADO CON CEMENTO HIDRÁULICO PARA USO GENERAL, ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN NORMAS ASTM C-642-92 Y ASTM C1202; UTILIZANDO DIFERENTES RELACIONES AGUA-CEMENTO**, presentado por el estudiante universitario: **Hanz Abraham Pérez Calderón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Jehová, Dios	Por ser la guía, fortaleza y esperanza durante mi vida.
Mi esposa	Liseth de Pérez, por ser mi amiga, compañera de vida, apoyarme en el recorrido de la carrera, animarme a nunca desfallecer y culminar esta etapa.
Mi hija	Melany Rebeca Pérez, por ser mi inspiración para actuar.
Mis padres	Arnoldo Pérez y Flora de Pérez por apoyarme en la medida posible en todo mi desarrollo profesional.
Mis hermanos	Arnoldo y Alan Pérez, por ayudarme a superar los desafíos a lo largo de nuestras vidas.
Mis compañeros	Por brindar fraternal entusiasmo, animarme a superar y cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por compartir los conocimientos adecuados y por el amplio interés en el desarrollo profesional del estudiante.

Facultad de Ingeniería

Por tener docentes de muy buena calidad en mi tiempo estudiantil, encargándose de educar y formar a los futuros profesionales para enfrentar desafíos futuros.

**Mis amigos y futuros
colegas de vida**

Por acompañarme en toda la carrera y compartir buenos momentos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CAPÍTULO.....	1
1.1. Estudios realizados en Guatemala y en otros países.....	1
1.2. Importancia de realizar un estudio de permeabilidad en el concreto.....	3
2. GENERALIDADES DEL CONCRETO.....	5
2.1. El concreto y sus propiedades.....	5
2.1.1. Propiedades generales del concreto fresco y concreto endurecido.....	5
2.1.1.1. Concreto fresco.....	5
2.1.1.2. Concreto endurecido.....	10
2.2. Estructura interna del concreto.....	15
2.2.1. Poros en la pasta de cemento hidratada.....	16
2.2.2. Zona de transición.....	20
2.3. Influencia del contenido de agua en las propiedades del concreto.....	21

3.	PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO	23
3.1.	Permeabilidad	23
3.2.	Factores que influyen en la permeabilidad del concreto	24
3.3.	Agentes dañinos capaces de ingresar al concreto permeable	25
3.3.1.	Daños en el concreto por reacciones físicas.....	25
3.3.2.	Daños en el concreto por reacciones químicas	26
4.	DURABILIDAD DEL CONCRETO.....	29
4.1.	Factores que intervienen y perjudican la durabilidad del concreto	29
4.1.1.	Factores externos e internos	30
4.1.1.1.	Factores externos	30
4.1.1.2.	Factores internos	34
4.2.	Categorías de exposición	41
4.3.	Tratamientos de protección	45
4.3.1.	Tratamientos de protección para el concreto	45
4.3.2.	Aditivos para el concreto	49
4.3.2.1.	Aditivos impermeabilizantes	52
4.3.2.2.	Aditivos reductores de agua	52
5.	NORMATIVAS UTILIZADAS.....	55
5.1.	Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido según Norma; ASTM C-642-92	55
5.1.1.	Alcance actual del ensayo	55
5.2.	Ensayo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir penetración de iones cloruros según Norma; ASTM C1202.....	56
5.2.1.	Alcance actual del ensayo	56

6.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	61
6.1.	Metodología.....	61
6.1.1.	Equipo de ensayo	66
6.1.2.	Procedimiento de ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión e indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro	67
6.2.	Resultados obtenidos	68
6.3.	Análisis de resultados obtenidos.....	73
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	ANEXOS	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Variación de la porosidad y la continuidad de poros capilares en función de la relación agua/cemento	18
2.	Relaciones de resistencia - permeabilidad - porosidad capilar	19
3.	Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades correspondientes a sustancias químicas nocivas en el agua y sus límites aceptables y máximos permisibles.....	37
4.	Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades	38
5.	Correspondientes a sustancias inorgánicas nocivas en el agua y sus límites aceptables y máximos permisibles.....	38
6.	Relación de agua-cemento y permeabilidad en el concreto	40
7.	Relación de agua-cemento y resistencia en el concreto.....	40
8.	Casos de exposición ambiental y especificaciones de profundidades de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido máximas y medias (mm) (EHE 08).....	45
9.	Equipo para indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro	58
10.	Recolección de agregados del concreto.....	62
11.	Pesaje y mezclado de componentes del concreto.....	63
12.	Ensayos realizados al concreto fresco	64
13.	Ensayos realizados al concreto endurecido	65
14.	Equipo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro	66
15.	Ensayos realizados al concreto endurecido	67

16.	Valores de interpretación utilizados para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro	68
17.	Resistencia a compresión vs. relación agua-cemento	70
18.	Resistencia a compresión del concreto a 7 días de endurecido.....	70
19.	Resistencia a compresión del concreto a 28 días de endurecido.....	71
20.	Replicación comparativa de resistencias a compresión en el concreto, con relaciones a/c de 0,50, 0,65 y 0,80	71
21.	Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.....	72

TABLAS

I.	Clasificación de poros según su tamaño en la pasta de cemento	17
II.	Edad aproximada para que los vacíos de un concreto se vuelvan discontinuos.....	20
III.	Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades y agua de mar / partes por millón.....	37
IV.	Categorías y clases de exposición del concreto.....	43
V.	Requisitos para el concreto según las categorías y clases de exposición.....	44
VI.	Aditivos para concreto	50
VII.	Ensayos en concreto fresco.....	69
VIII.	Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto – NTG 41017 h1	69
IX.	Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a/c	Agua/cemento
cm	Centímetro
CO₂	Dióxido de carbono
Ecu.	Ecuación
CA(OH)₂	Hidróxido de calcio
Hrs	Horas
SO₃	Iones sulfato
KPA	Kilo pascal
Kg/cm²	Kilogramo fuerza sobre centímetro cuadrado
psi	Libra fuerza sobre pulgada cuadrada
MPa	Mega pascal
mm	Milímetro
Pch	Pasta de cemento hidratada
PH	P H
%	Porcentaje
Pulg.	Pulgadas
f'c	Resistencia a la compresión del concreto
C°	Temperatura en grados centígrados

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute.
Agregado fino	Agregado que pasa el tamiz #4 (4,75 mm).
Agregado grueso	Agregado que es retenido en el tamiz #4 (4,75mm).
Aluminio tricálcico	Es un compuesto químico existente en el Clinker de los cementos Portland (de 7 % a 15 %). Reacciona muy rápidamente con el agua, es el que posee una cinética reactiva de mayor velocidad entre los componentes silicatos del Clinker. El rápido hidratado hace que en los primeros minutos de la fragua del cemento vayan creciendo los cristales de aluminato, contribuyendo ligeramente a la resistencia temprana del cemento en el concreto.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Carbonatación	En el concreto es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio (con alto pH) a carbonato de calcio, el cual tiene un pH más neutral.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.

Concreto endurecido	Concreto que ha desarrollado suficiente resistencia para soportar cargas estipuladas.
Concreto fresco	Concreto recién mezclado, aún plástico y trabajable.
Control de calidad	Estrategia que asegura el mejoramiento continuo de la calidad, cuyo objetivo es la satisfacción de los clientes, internos y externos, mediante el desarrollo permanente por mantener y mejorar la calidad de los productos y servicios, a través de la aplicación de técnicas y esfuerzos.
<i>Coulomb</i>	Es la unidad derivada del sistema internacional para la medida de la magnitud física cantidad de electricidad.
Criptocristalina	Se refiere al aspecto físico del concreto que se caracteriza por estar formado de cristales diminutos, no observables a simple vista.
Curado	Proceso, a través del cual se mantienen; el concreto, mortero, en la condición húmeda y a una temperatura favorable, por el período de tiempo de sus primeras etapas, a fin de que se desarrollen las propiedades deseadas del material. El curado garantiza la hidratación y el endurecimiento satisfactorios de los materiales cementantes.

Eflorescencia	La eflorescencia es un depósito de sales, usualmente blanco, que se forma en la superficie, cuando la sustancia en solución sale del interior del concreto o mampostería, hacia la superficie en forma de sales color blanco azulado o color gris-blanco.
Fraguado	Proceso de endurecimiento del concreto, en el cual pasa de un estado plástico a un estado sólido, procedente de la reacción química del cemento y el agua.
Galvanizados	Es el proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro con la intención de protegerlo.
Lixiviación	Es una reacción que ocurre cuando el agua se disuelve en componentes con el concreto. Esta produce una apariencia arenosa en la superficie expuesta del concreto, en el peor de los casos puede erosionar el concreto interno y reducir la resistencia del concreto.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
Protección catódica	Es la única técnica comprobada que detiene la corrosión.
UGC	Uso general en la construcción.

RESUMEN

Para realizar el análisis y la determinación de la permeabilidad en las mezclas de concreto, se elaboró un diseño de mezcla estándar con variaciones en la relación agua-cemento para simular concretos de durabilidad distinta. Los agregados fueron seleccionados de la empresa AGRECA, S.A. Se utilizó cemento tipo UGC, que es un cemento hidráulico de uso general en la construcción de acuerdo con la Norma COGUANOR NTG 41095 (ASTM 1157 – especificaciones generales por desempeño para cementos hidráulicos).

Para el monitoreo de la investigación se elaboraron y ensayaron probetas de acuerdo con la Norma COGUANOR NTG 41061 (ASTM C31). Las probetas se mantuvieron sumergidas en una pileta con agua y se ensayaron a los 7, 14, y 28 días de edad, se tomaron registros obtenidos e información de resistencias de las probetas, que resultaron de utilidad para analizar en conjunto con los datos de permeabilidad obtenidos para cada mezcla según las Normas COGUANOR NTG 41017h21 (ASTM C642-92) y COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C1202).

La alta permeabilidad en el concreto representa una amenaza para la durabilidad de este. Esta condición puede ocasionar la disminución de la vida útil del concreto, sobre todo bajo exposición severa a sustancias nocivas o ambientes agresivos, situación que también puede contribuir a dañar el acero de refuerzo de forma prematura, siempre y cuando el concreto sea reforzado.

En este trabajo se analizan diferentes grados de permeabilidad del concreto y se plantean recomendaciones para elaborar concretos menos permeables. Serán consideradas las condiciones actuales del entorno, diseños de mezcla con

agregados locales y metodologías aplicadas para los ensayos de permeabilidad comunes a nivel internacional.

OBJETIVOS

General

Determinar la permeabilidad del concreto elaborado con cemento hidráulico de uso general, conforme las especificaciones de las normas ASTM C-642-92 y ASTM C1202, relacionando diferentes condiciones de agua-cemento.

Específicos

- Determinar la porosidad y determinar la permeabilidad en el concreto, utilizando diferentes relaciones agua-cemento, conforme a las especificaciones de la Norma ASTM C-642-92.
- Analizar el comportamiento y la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones cloruro, utilizando diferentes relaciones agua-cemento, conforme a las especificaciones de la Norma ASTM C 1202.
- Determinar entre los métodos de ensayo utilizados en la investigación, el método con presentación de resultados consistentes, realistas y prácticos para la evaluación y la toma de precauciones respecto de la permeabilidad del concreto de acuerdo con los resultados obtenidos de porosidad y especificaciones de la Norma ASTM C-642-92 y ASTM C1202; respectivamente.

INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la evolución e innovación de tecnologías aplicadas a la construcción, el desarrollo de materiales mejores capacidades de desempeño y la implementación de métodos más eficientes, el concreto sigue siendo un material compuesto, heterogéneo y no impermeable, y aunque presenta ciertos inconvenientes termina convirtiéndose en un recurso de suma importancia para la construcción y la ingeniería civil en general. Debido a las nuevas exigencias e intereses propios relacionadas con el continuo crecimiento de la población mundial, se busca comprometer a la ingeniería al continuo estudio del concreto y sobre sus propiedades específicas para que se desarrollen y establezcan alcances adecuados según su funcionalidad, durabilidad, seguridad y reducción de costos en sus diversas aplicaciones.

En la construcción se pueden encontrar diversidad de casos en los cuales el concreto se expone a sustancias nocivas (líquidos, gases o iones), durante largos periodos de tiempo, para los que se requieren que, éste desarrolle propiedades que le permitan ser lo menos permeable posible, maximizando su eficacia y durabilidad y que a su vez cumpla con las condiciones de servicio y tiempo de vida útil proyectada.

Todas las acciones y especificaciones que aporten al control de permeabilidad en el concreto son de gran importancia para el desarrollo de este tipo de proyectos en los que se requiere controlar estas posibles condiciones adversas e innatas del material.

En este documento de investigación se presentará la evaluación del efecto de la penetrabilidad de sustancias del concreto, variando la relación agua-cemento en mezclas de concreto.

Se proponen los ensayos según las Normas COGUANOR NTG 41017h21 (ASTM 642-13) y COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C1202), para la evaluación y control de la permeabilidad, en función de la penetrabilidad de sustancias del concreto.

1. CAPÍTULO

1.1. Estudios realizados en Guatemala y en otros países

El concreto es un material antiguo conocido, estudiado y utilizado a partir de los años 7000 y 6000 a. C. por los israelitas. Dicho estudio cobra un mayor impacto en la construcción tras el descubrimiento del cemento como material potencial de construcción, tanto que el interés de estudiar sus propiedades cada vez fue intensificando y siendo de mayor influencia en gran parte de Europa, lo que motivó la investigación y con ello el desarrollo e iniciativa de conocer y mejorar las propiedades del cemento para la elaboración de concreto con capacidades de obtener mayores resistencias y estándares de calidad en proyectos de construcción.

Comprender el inicio del uso del concreto es determinar cómo fue tanto su uso, así como la evolución del uso del cemento. En la primera mitad del siglo XIX el cemento se empezó a exportar de Inglaterra a varias partes del mundo tomando mayor auge, haciendo que en lugares como Latinoamérica surgiera el interés y la necesidad de la producción de cemento a finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

“En Guatemala, la producción de cemento cobra importancia, siendo esta potencializada a inicios del siglo XX, la producción y distribución del cemento en el país permitió que este se transformara en componente principal del concreto en elementos resistentes para la construcción.”¹

¹ Cementos Portland. *Cementos adicionados y otros cementos hidráulicos*. p. 25.

Los avances e investigación permiten que la innovación en la construcción logre adoptar nuevos retos y aplicaciones particulares, como el concreto utilizado en construcciones con alta exposición a sustancias nocivas (líquidos, gases o iones), durante largos periodos de tiempo, lo que esto implica que el material cumpla con los requerimientos para hacerlo lo menos permeable posible, aumentando su vida útil. Esta aplicación es la que resulta de interés para esta investigación.

En la actualidad se conoce que la permeabilidad del concreto esta aunada a la cantidad de agua que se usa en la mezcla de este material. A consecuencia de malas prácticas constructivas, el uso excesivo de este componente esencial resulta en la generación de un medio de conducción y transporte de sustancias agresivas para el concreto, así como causante de alta permeabilidad en la estructura interna del mismo, por lo tanto, la permeabilidad es un factor que tiene que ser considerado y evaluarlo cuando sea necesario, dependiendo del uso y del entorno en el que se coloque el concreto, con la finalidad de reducir el riesgo que puede representar para la estructura.

Existen varias metodologías de evaluación de la permeabilidad del concreto las que permiten presentar resultados cuantitativos y porcentuales representativos de un elemento elaborado con concreto. Entre estas metodologías se pueden mencionar los ensayos de acuerdo con la normativa COGUANOR NTG 41017h21 (ASTM C 642-13) y COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C1202). No se han realizado estudios sobre la relación que existe entre ambas normas, ni se han establecido parámetros comprobados de la incidencia real que tienen en el concreto elaborado con materiales locales, variando la relación agua-cemento.

1.2. Importancia de realizar un estudio de permeabilidad en el concreto

Muchos estudios han demostrado que la durabilidad del concreto se ve afectada por la exposición y penetración de sustancias nocivas en su interior, sobre todo cuando estos se encuentran durante largos periodos de tiempo porque la relación entre la cantidad de agua, la composición y cantidad de los materiales cementantes utilizados en el concreto está altamente relacionada a la durabilidad y a los niveles de permeabilidad. Estos estudios han sido consistentes durante los últimos años, determinando que cuando la relación agua-cemento aumenta la permeabilidad es mayor, y con ello su durabilidad decrece.

Para ello es importante y necesario evaluar los factores que contribuyen a determinar la relación agua-cemento adecuada para otorgar al concreto la resistencia a la penetración de agua y de iones cloruro esperada y deseada, además, reconocer formas de evitarlos y con ello, considerar todas aquellas precauciones convenientes para que el uso del concreto sea adecuado en proyectos de construcción, garantizando resultados aceptables acorde a las demandas de la estructura que se esté construyendo.

2. GENERALIDADES DEL CONCRETO

2.1. El concreto y sus propiedades

El concreto es un material homogéneo compuesto por cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y aditivos. Cuando el cemento entra en contacto con el agua se produce una reacción química que ocasiona un aglutinamiento en todas las partículas presentes en la mezcla, lo que produce inicialmente una pasta, la cual, con el paso del tiempo adecuado se endurece progresivamente hasta alcanzar un grado de dureza similar al de una roca.

La composición de la mezcla y dosificación se determina racionalmente teniendo en cuenta que esta produzca un material que permita obtener resultados óptimos en trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

2.1.1. Propiedades generales del concreto fresco y concreto endurecido

A continuación, se realiza descripción de las propiedades generales del concreto fresco y concreto endurecido.

2.1.1.1. Concreto fresco

En la fase inicial de la formación del concreto, iniciando con la homogenización del agua y los agregados, se presentan cambios físicos y químicos que encabezan propiedades que deben ser debidamente controladas para que sea mejor el concreto endurecido.

Las propiedades del concreto fresco, de mayor representatividad, se pueden determinar in situ con ensayos debidamente normados en estado fresco. Dichas propiedades primordiales son, entre otras: trabajabilidad, temperatura, contenido de aire, exudación y asentamiento, hidratación y masa volumétrica.

- Trabajabilidad del concreto fresco

La trabajabilidad del concreto fresco se puede determinar con los ensayos de asentamiento que permiten evaluar la consistencia y fluidez del concreto.

Esta propiedad es la que permite identificar la facilidad con la que el concreto se puede homogenizar, manipular, moldear, transportar, colocar y estabilizar por el usuario.

El grado de trabajabilidad apropiado depende mucho del tamaño del agregado seleccionado, elemento a fundir, colocación y vibrado. Es decir, las condiciones donde permanecerá funcional.

“Una pasta con poca agua y mucho cemento será muy rígida, no podrá llegar a ser enteramente trabajable, por el contrario, si se tiene mucha agua y el contenido de cemento es bajo, la pasta puede llegar a ser muy fluida, lo que promoverá la segregación de los agregados y en su defecto la formación no deseada de mezcla heterogénea considerada como oquedades.”²

- Factores que pueden afectar la trabajabilidad del concreto

² RIVERA, Gerardo. *Manejabilidad del concreto*. p. 87.

- El método y duración del transporte
 - Cantidad y características de los materiales cementantes
 - Asentamiento del concreto
 - Propiedades de los agregados finos y gruesos
 - Contenido de aire
 - Contenido de agua
 - Concreto y temperatura ambiente
 - Aditivos
- Temperatura del concreto fresco

La temperatura es un factor ambiental que influye altamente en el desempeño final del concreto. La temperatura se presenta en dos formas: la cual puede ser elevada o baja, ésta depende del ambiente y la forma en que se responderá con la propia hidratación de la mezcla.

En temperaturas elevadas, se produce en el concreto una baja de humedad relativa lo que provoca una pérdida rápida de la hidratación en la mezcla del concreto, provocando la incrementación de la demanda de agua y la velocidad en la pérdida de asentamiento, la trabajabilidad disminuye debido a que se endurecimiento es más rápido de lo normal.

En condiciones extremas aumenta el riesgo de agrietamiento en la superficie del elemento fundido y daños en posibles juntas frías localizadas.

Por el contrario, en temperaturas bajas, se pueden considerar efectos opuestos. Por ello hay que considerar reducción en el porcentaje de hidratación en la mezcla.

En condiciones extremas lo que sucede es que se reduce la resistencia del elemento fundido a edades tempranas.

- Contenido de aire

La presencia de aire es un efecto natural e inevitable durante el mezclado y en el proceso de reacción natural entre componentes del concreto, en su mayoría el contenido de aire dependerá de las condiciones del lugar y tamaño de los agregados utilizados en la mezcla. La presencia de aire en la mezcla de concreto contribuye a obtener mayor resistencia a congelación-deshielo de concretos expuestos al agua y otras sustancias, esta se determina de acuerdo con COGUANOR NTG 41017h7 (ASTM C 231).

- Exudación y asentamiento

Exudación es el desarrollo de una capa de agua en la parte superior de un elemento recién colocado. Esto es causado por la sedimentación de las partículas sólidas y la simultánea migración de agua.

Las partículas más densas descienden y las partículas menos densas ascienden, si la exudación es demasiado grande se creará una capa de agua en la superficie que modifica la relación agua-cemento cerca de la superficie y la parte superior del elemento fundido será de baja resistencia.

- Hidratación

El poder de adherencia de la pasta de cemento se debe principalmente a la reacción química entre el cemento y el agua, mejor conocida como hidratación. Se debe tener mucho control al mezclar el concreto, para no utilizar más agua de la que es necesaria, que servirá tanto para lograr la reacción de hidratación, como para colocarlo adecuadamente. Por lo general con 0,4 veces (en masa) la cantidad de cemento en agua es lo necesario para completar la hidratación del cemento.

- Masa volumétrica y rendimiento

El concreto se dosifica por peso y se distribuye por volumen, por tanto, es importante conocer la masa unitaria del concreto para calcular el rendimiento volumétrico real obtenido del diseño de mezcla. En la práctica, el volumen del concreto puede presentar variaciones, en consecuencia, de distintos factores humanos y de equipo de los cuales se pueden tomar en cuenta lo que es: equipo utilizado, errores humanos en la medición, la forma de realizar el ensayo y la misma incerteza de los equipos de medición, sin embargo, con la medida de la masa volumétrica se puede determinar que tan bien se realizó la dosificación de los componentes del concreto. Dicho ensayo de masa volumétrica se determina de acuerdo con COGUANOR NTG 41017h5 (ASTM C 138).

2.1.1.2. Concreto endurecido

En el concreto endurecido las propiedades son aquellas que permitirán conocer si el concreto cumplió con los requerimientos definidos al momento de diseñarlo, así como del control de calidad correspondiente al mismo, algunas de estas propiedades se describen a continuación:

- Tiempo de fraguado, endurecimiento del concreto

En el tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto debe de tomarse con mucha importancia el volumen y tamaño del elemento de concreto, debido a que en áreas superficiales grandes con relación a su volumen se secan mucho más rápidamente que los miembros con gran volumen de concreto y con áreas superficiales pequeñas.

“Cuando el concreto se endurece, el volumen bruto permanece casi inalterado, pero empieza a adquirir resistencia y aumenta conforme este endurece con el tiempo. Sin embargo, cuando este se seca por completo, la resistencia deja de crecer.”³

Factores que inciden en los tiempos de fraguado:

- Composición química del cemento
- Finura del cemento; cuanto más fino es el cemento, mayor es la velocidad de hidratación.
- A mayor cantidad de agua de mezclado, dentro de ciertos límites, más rápido es el fraguado.

³ KOSMATKA, Steven., KERKHOFF, Beatriz., PANARESE, William. y TANESI, Jussara. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 5.

- A menor temperatura ambiente, las reacciones de hidratación son más lentas.

Observación: en la Norma COGUANOR NTG 41017 h12 (ASTM C403) se determinan los tiempos de fraguado del cemento hidráulico.

- Curado del concreto

El curado es la propiedad que, debido a la hidratación continua del cemento en presencia de la cantidad adecuada de agua y calor, permiten al concreto soportar los cambios de temperatura y pérdida del contenido de humedad en un balance durante un tiempo determinado justo después de su colocación, para que en su etapa final de endurecimiento este pueda ir obteniendo las propiedades finales deseadas.

Si el concreto se seca muy rápido es porque se interrumpe el curado, el desarrollo de la resistencia continúa por un corto período de tiempo y se paraliza después que la humedad relativa interna baja.

Si empieza nuevamente el curado húmedo, el desarrollo de la resistencia se reactiva, pero la resistencia potencial original quizá no se logre desarrollar. Si se da un proceso adecuado de curado, el concreto puede ser menos permeable y más resistente a esfuerzos de abrasión y de congelación-deshielo.

La mejor opción es someter al concreto a curado húmedo continuo, desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya desarrollado suficiente resistencia, impermeabilidad y durabilidad. De lo contrario se pueden producir fisuras superficiales, y se podría impedir el alcanzar la resistencia especificada.

El método de curado más eficiente depende de los materiales y métodos de construcción empleados y del uso del concreto endurecido. En algunos casos, tales como en el clima caluroso y en el clima frío, se necesitan cuidados especiales y precauciones adicionales.

- Resistencia

La resistencia es la propiedad que determinará si el concreto, con el paso del tiempo, alcanzará la capacidad de soportar esfuerzos de compresión de acuerdo a las condiciones de servicio establecidas en su diseño original; estrechamente relacionada a la resistencia de los componentes que integran el concreto.

Para determinar la resistencia en el concreto existen métodos de ensayo, que pueden ser métodos destructivos o no destructivos. La resistencia mecánica del concreto, generalmente se mide a los 28 días, porque es la edad en la que se considera que el concreto ha alcanzado un porcentaje de resistencia suficientemente alto. Pueden evaluarse resistencias a edades más tempranas, a los 7 o 14 días, siempre y cuando se tomen en cuenta las consideraciones siguientes:

- Especímenes curados y moldeados de las muestras de concreto fresco de acuerdo con COGUANOR NTG 41061 (ASTM C 31).
- Especímenes extraídos o aserrados de la estructura de concreto endurecido, de acuerdo con COGUANOR NTG 41049 (ASTM C42-04).

- Especímenes producidos con moldes de cilindros colados in situ, de acuerdo con COGUANOR NTG 41061 (ASTM C 470). Para todos los métodos, los cilindros deben tener el diámetro, por lo menos, tres veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso y la longitud debe ser lo más cerca posible de dos veces el diámetro.
- No se deben usar testigos, núcleos, ni cilindros con altura menor que 95 % del diámetro, antes o después del cabeceo (refrendado).
- Masa unitaria o densidad

Concretos convencionales, usados en pavimentos, casas y otras estructuras tienen una densidad entre los 2 200 kg/m³ y los 2400 kg/m³. La masa unitaria o densidad del concreto también se pueden ver afectados por sus componentes, ya sea por la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado, la cantidad de agua, la cantidad de cemento y/o por el tamaño máximo del agregado.

La masa del concreto seco es igual a la masa del concreto fresco recién mezclado, menos la cantidad de agua evaporada durante el periodo de secado del concreto.

Existe una gran gama de concretos que se han diseñado para satisfacer necesidades diversas, sus densidades pueden variar desde los 240 Kg/m³ para un concreto liviano, hasta los 6 000 Kg/m³ para muros de radiación.

- Durabilidad

Durabilidad es la capacidad del concreto de una estructura para mantener su forma original, resistencia a la acción del ambiente, al ataque por acción química, meteorización y a la abrasión, conservando su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio.

Para la determinación de la durabilidad de un concreto es necesario tener información de ensayos que se complementan entre sí para tener una mejor idea del comportamiento del concreto en cuanto a esta propiedad. Entre otros ensayos los más comunes están el ensayo de contenido de aire de acuerdo con la COGUANOR NTG 41017h7 (ASTM C231-09, ASTM C185), contenido de cloruros COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C1202), resistencia a la exposición de sales descongelantes de acuerdo con la ASTM C 672, resistencia de flexión del concreto de acuerdo con la COGUANOR NTG 41017h2 (ASTM C78-09), resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto de acuerdo con la Norma COGUANOR NTG 4101h1 (ASTM C39), resistencia a la desfragmentación por descongelantes, resistencia a los Sulfatos de acuerdo con la COGUANOR NTG 41014h5 (ASTM C 1012), reactividad álcali-sílice de acuerdo con la COGUANOR NTG 41010 h13 (ASTM C 227, resistencia a la Abrasión NTG 41010 h20 (ASTM C131), y por permeabilidad del concreto de acuerdo con la COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C 1202), entre otros.⁴

- Permeabilidad

La permeabilidad, se puede caracterizar como una propiedad de flujo que permite determinar, en función del agua y otros líquidos o gases como estos pueden fluir a través de los poros del concreto. Se ha podido determinar experimentalmente que la permeabilidad del concreto endurecido está relacionada con la permeabilidad de la mezcla en estado fresco del concreto y granulometría del agregado, de la proporción relativa de la pasta con respecto a los agregados y sobre todo la relación agua-

cemento de la proporción de materiales con la que se conforma, además de la duración y calidad del curado del mismo.⁴

2.2. Estructura interna del concreto

El concreto tiene una estructura altamente heterogénea y compleja, ya que este al fraguar, durante el proceso de endurecimiento, y a consecuencia de una inapropiada dosificación, compactación, exudación aunada a ello también el tamaño, forma, textura de los agregados, dejan al concreto endurecido con una serie indefinida de poros y capilares, que hacen del concreto un material poroso.

Existen aspectos importantes que se pueden visualizar a más detalle, es decir a nivel microscópico, estos permiten mejorar la interpretación de la estructura interna del concreto: las partículas de agregados en el medio aglutinante, la pasta de cemento hidratado y la zona de transición, la cual se caracteriza por ser más débil que las otras fases, y tiene una mayor influencia en el comportamiento del concreto.

Un concreto con un alto contenido de poros en su estructura, contribuye a que exista el riesgo de afectarse por heladas, ataque de aguas y suelos agresivos, debido a su facilidad de penetración, ocasionando una disminución en la durabilidad del concreto.

Con vistas a la durabilidad del concreto se debe interesar en tres aspectos de su estructura de poros de los cuales se mencionan: el volumen total de poros, distribución en los diferentes tamaños de poro, el grado de accesibilidad de los mismos desde el exterior y su interconexión con el interior. Este hecho es de gran

⁴ KOSMATKA, Steven; KERKHOFF, Beatriz; PANARESE, William. TANESI, Jussara. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 343.

importancia ya que esta se encuentra en una relación proporcional a la durabilidad del concreto.

2.2.1. Poros en la pasta de cemento hidratada

La pasta de cemento es un material compuesto por partículas de cemento sin hidratar, embebidas en una matriz continua de pasta de cemento hidratada, atravesada por poros de gel y poros capilares, ocupados por agua.

Según el tamaño de los poros del concreto se clasifican en macroporos, poros capilares y microporos, los primeros son las burbujas de aire atrapado naturalmente y a las burbujas de aire incluidas intencionalmente.

Los poros capilares son los poros que se encuentran por fuera del gel de cemento, son de forma variable y los últimos, los microporos están constituidos por los poros de la pasta hidratada y endurecida.

Los constituyentes de la pasta de cemento hidratada (pch), y los agregados se caracterizan por tener diferente porosidad, pero potencialmente similar permeabilidad dependiendo del tipo de agregado y de la relación agua/cemento que se designe y aplique.

El tamaño de los poros de una pasta de cemento hidratada varía desde la escala subnanométrica a la escala micrométrica, y pueden ser observados de una manera clasificada en la tabla I.

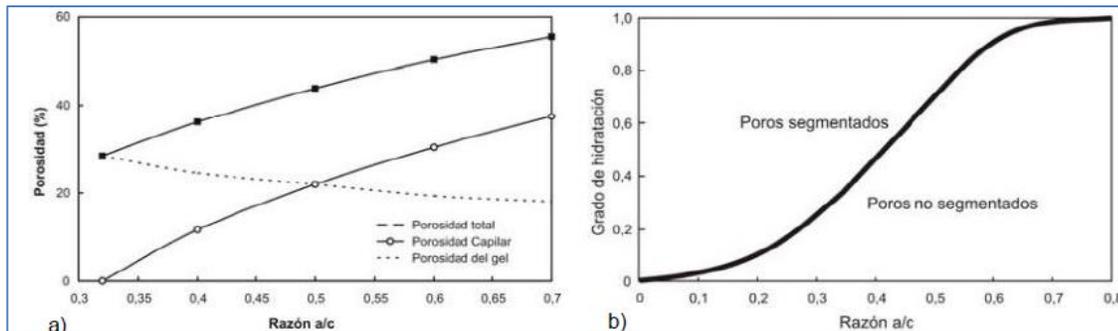
Tabla I. **Clasificación de poros según su tamaño en la pasta de cemento**

Denominación	Diámetro	Descripción	Rol del agua	Propiedad afectada
Poros capilares	10 -0,05 μm	Capilares grandes	Se comporta como agua libre	Resistencia, permeabilidad
	20 -10nm	Capilares medianos	Genera moderada fuerza de tensión superficial	Resistencia, permeabilidad, contracción a alta humedad
	10 – 2,5 nm	Pequeños capilares	Genera elevadas fuerzas de tensión superficial	Contracción a 50 %, HR
Poros de gel	2,5 – 0,5 nm	Microporos	Agua fuertemente absorbida, no forma menisco	Contracción por secado, Creep
	< 0,5 nm	Microporos entre laminas	Agua estructural involucrada en las uniones	Contracción por secado, Creep

Fuente: MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto-Parte I*. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1576>. Consulta: 15 de febrero de 2021.

En la tabla I, la primera denominación corresponde a los poros que poseen radios comprendidos entre los 10 nm y los 1 000 nm denominados poros capilares, y son el resultado de los espacios que inicialmente se encuentran ocupados por el agua de mezclado, que durante el tiempo son parcialmente rellenados con productos de hidratación. En la segunda denominación se clasifican los poros de gel, en estos se conoce que a medida que el proceso de hidratación evoluciona, la porosidad capilar se reduce incrementado la resistencia mecánica.

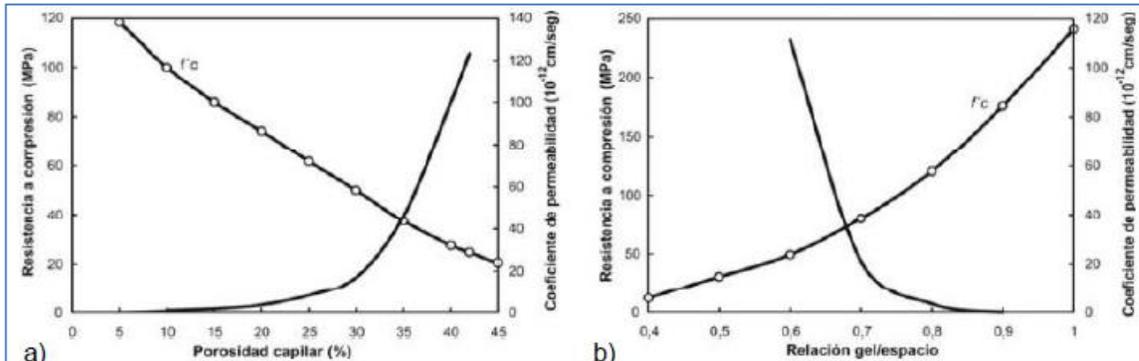
Figura 1. **Variación de la porosidad y la continuidad de poros capilares en función de la relación agua/cemento**



Fuente: MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto-Parte I*. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1576>. Consulta: 15 de febrero de 2021.

En la figura 1 en el inciso a), se indica la variación de la porosidad en función de la relación a/c. En el inciso b) se representa que a medida que la hidratación aumenta, los productos de reacción van colmatando los poros capilares, y que para una relación a/c mayor a 0,70, la hidratación completa del cemento no alcanza para segmentar los poros capilares, por lo que no se logra interrumpir su continuidad y de esta manera reducir el transporte de sustancias en el concreto, generalmente con sólo alcanzar el 50 % de la hidratación del cemento, los poros capilares dejan de tener continuidad, asegurando una reducción del ingreso de sustancias agresivas en el concreto. Dicho esto, la variación de la porosidad capilar de la pasta afecta directamente la resistencia mecánica y el coeficiente de permeabilidad al agua.

Figura 2. Relaciones de resistencia - permeabilidad - porosidad capilar



Fuente: MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto-Parte I*. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1576>. Consulta: 15 de febrero de 2021.

En la figura 2 se observa que a medida que “la porosidad se reduce, aumenta la resistencia del concreto (f'_c), y disminuye el coeficiente de permeabilidad al agua.”⁵

Para que en un concreto los poros se vuelvan discontinuos se requiere un tiempo necesario y Powers, junto a otros estudiosos el cálculo del tiempo necesario para que los vacíos de un concreto se vuelvan discontinuos en función de la relación agua-cemento del concreto, los resultados están tabulados a continuación:

⁵ MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto-Parte I*. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1576>. Consulta: 15 de febrero de 2021.

Tabla II. **Edad aproximada para que los vacíos de un concreto se vuelvan discontinuos**

Relación agua-cemento en masa	Tiempo requerido
0.40	3 días
0.45	7 días
0.50	14 días
0.60	6 meses
0.70	1 año
A/C>0.70	Imposible

Fuente: KOSMATKA, Steven. y WILSON, Michelle. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 196.

En la tabla II se puede observar la importancia de usar relaciones agua-cemento bajas, y con estos valores bajos el tiempo en que los vacíos dentro del concreto se vuelven discontinuos es corto, pero a mayores relaciones agua-cemento el tiempo aumenta de manera dramática, hasta que es prácticamente imposible eliminar la continuidad de los poros y por consiguiente se obtiene una permeabilidad muy alta y, como consecuencia de la relación una durabilidad baja.

2.2.2. Zona de transición

La zona de transición es el eslabón más débil de la estructura del concreto. Aún para concretos de baja relación agua/cemento a edades tempranas, el volumen y tamaño de los poros en la zona de transición serán más grandes que en la masa del mortero.

Cuando el concreto está recientemente compactado las partículas de agua se forman alrededor del agregado grueso produciendo una relación agua/cemento mayor en las cercanías del agregado grueso, que como resultado final se forma una pasta más porosa en la pch.

2.3. Influencia del contenido de agua en las propiedades del concreto

El agua, desempeña un papel importante en la formación del concreto, esta participa en las reacciones que se producen con los componentes que le conforman. Es de suma importancia que el agua de mezclado no tenga cantidades indeseables de sustancias orgánicas ni constituyentes inorgánicas en proporciones excesivas, ni impurezas en ella misma como lo son: álcalis, ácidos, materia vegetal, aceites, aguas residuales, cantidades excesivas de limo, porque el agua en estas condiciones representa un riesgo al concreto ya que pueden alterar el fraguado del cemento, afectar adversamente la resistencia del concreto, provocar fisuras, asentamiento no deseado y también pueden conducir a la corrosión del acero de refuerzo, así como inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad.

Una de las principales amenazas para el concreto es la alta permeabilidad, puesto que este tipo de concretos es propenso a desintegrarse, debido a la penetración del agua en los poros del concreto, que pueden dar lugar a expansión en el concreto por congelación, en algunas regiones, sometiéndolo a tensiones que no puede soportar. No se debiera utilizar cualquier tipo de agua, porque sin el debido control puede estar contaminada con sulfatos, ácidos y otros productos químicos agresivos que también aceleran el proceso de destrucción del concreto, así como de las barras de acero en elementos de concreto armado.

Por lo anteriormente expuesto, la reducción de la relación agua-cemento, es una manera efectiva de mejorar la durabilidad del concreto, resultando en una mayor resistencia mecánica y disminución de la porosidad de la pasta de cemento endurecido en cualquier etapa del proceso de hidratación.

La influencia del contenido de agua en el concreto se puede analizar desde los dos estados principales del concreto:

- En estado fresco; la adición de agua aumentará la fluidez del concreto. Esto no parece causar mayor problema, más que la posible segregación de los materiales, es decir la separación entre tamaños de partículas de agregados, que si es nocivo.
- En estado endurecido; es donde tiene sus efectos más negativos, la cantidad de agua para hidratar el cemento es de aproximadamente el 25 % del peso del cemento.

“El resto del agua es para proporcionarle trabajabilidad a la mezcla; pero, como ya se ha mencionado, el exceso en la cantidad de agua tiene repercusiones negativas en las resistencias del concreto en todas las edades, además de reducir la durabilidad del mismo porque así se promueve una alta permeabilidad en el concreto, lo que es indeseable.”⁶

⁶ PÉREZ MONROY, Ismar José. *Permeabilidad del concreto, elaborado con cemento hidráulico para uso general, según normas UNE-EN 12390-8 y ASTM c1202, utilizando diferentes relaciones agua-cemento.*

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/14126/1/Ismar%20Jos%C3%A9%20P%C3%A9rez%20Monroy.pdf>. Consulta: 22 de febrero de 2020.

3. PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO

3.1. Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad comúnmente caracterizada como una propiedad de flujo, en donde las condiciones y propiedades de un material poroso (concreto) sometido a un diferencial de presión puede llegar a permitir la circulación de sustancias o fluidos a través de ellos, en un tiempo y velocidad determinadas.

El concepto de permeabilidad se introduce en la ley de Darcy, quien experimentalmente comprobó que el caudal de agua por unidad de superficie que atravesaba un sólido poroso era proporcional al gradiente de presión entre las dos caras del mismo. La ley de Darcy generalizada comprende conceptos en los que le permite utilizarse como herramienta de análisis solo si se supone que la dirección de circulación es en una sola dirección (en el medio poroso) y viene expresada por la siguiente ecuación.⁷

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{-K}{\mu} \frac{dp}{dl} \quad \text{Ecu. No.1}$$

Donde:

V= velocidad de flujo del fluido (m/s)

Q= caudal que atraviesa la superficie de concreto analizada (m^2/s)

⁷ BUSTAMANTE ROMERO, Iskra Guisele. *Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú.* http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8804/BUSTAMANTE_ISKRA_AGUA_CEMENTO_PERMEABILIDAD_CONCRETO.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Consulta: 25 de febrero de 2020.

A= sección aparente del concreto analizada perpendicular a la dirección del flujo
(m^2)

K= coeficiente de permeabilidad intrínseca; este corresponde a un área y se expresa en (m^2), este no depende del líquido que se desea analizar

μ = viscosidad dinámica del fluido ($N * s/m^2$)

dp/dl = gradiente de presión relacionado al espesor de la muestra ($N/\frac{m^2}{m}$)

3.2. Factores que influyen en la permeabilidad del concreto

La permeabilidad en el concreto en su mayoría depende de los siguientes factores.

- Porosidad de la mezcla de cemento
- Porosidad de los agregados
- De la estructura (tamaño), distribución y continuidad de poros
- Gradiente de presión
- Relación agua-cemento
- Colocación y compactación del concreto (eliminación de burbujas de aire atrapado).
- Tiempo de curado.
- Magnitud y dimensiones de elemento de concreto.
- Hidratación de mezcla de concreto y calor de hidratación.
- Temperatura del concreto.

3.3. Agentes dañinos capaces de ingresar al concreto permeable

El concreto se ve amenazado por la reacción química o física de un fluido al momento de penetrar en su estructura interna.

Muchos de los agregados y el agua que se utilizan para la elaboración del concreto dependen de las mejores condiciones de acceso, disponibilidad, cercanía y sobre todo el costo relacionado al proyecto de construcción que se esté trabajando, donde estos en combinación con componentes externos y con propiedades permeables en el concreto siempre cuentan con agentes que al homogenizarse pueden ocasionar daños al concreto.

3.3.1. Daños en el concreto por reacciones físicas

Los fenómenos físicos que intervienen negativamente en las condiciones ideales del concreto incluyen cavitación y agrietamiento debido a la cristalización de las sales en los poros del concreto, y otros, como ciclos de congelamiento-deshielo, la carbonatación también es un fenómeno relacionado con la permeabilidad del concreto, debido a que el dióxido de carbono (CO_2), contenido en la atmósfera, penetra en el concreto al reaccionar con el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) presente en este, en gran medida debido al grado de permeabilidad que tenga el concreto. Esta reacción entre el dióxido de carbono (CO_2) y el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) disminuye el PH del concreto desde valores alrededor de 13 hasta un valor crítico cercano a 9. Este fenómeno es más crítico en concretos armados con acero de refuerzo, porque a medida que se reduce el valor de PH en el concreto, la protección del acero de refuerzo disminuye hasta quedar totalmente desprotegido, finalmente la carbonatación promueve el deterioro del acero expandiéndose sin control, causando que el concreto se agriete y se rompa.

Hoy en día la lluvia ácida y el incremento en el tráfico favorecen la carbonatación.

3.3.2. Daños en el concreto por reacciones químicas

Entre los agentes que ingresan y reaccionan químicamente dentro del concreto y lo dañan, especialmente en aquellos concretos muy permeables, son, entre otros:

- Iones sulfato (SO_3)

Estos regularmente son suministrados por aguas residuales y aguas subterráneas, estos reaccionan con el aluminato tricálcico del cemento, produciendo etringita, que es una solución expansiva que deforma el concreto, ocasionado por el aumento de su volumen a tal punto que el concreto sufre una ruptura de matriz, lo que conduce a la pérdida total de la resistencia en el concreto. Una estructura expuesta al agua del mar o la salpicadura del agua del mar es más vulnerable en la zona de marea o salpicadura, porque hay ciclos repetidos de mojado y secado y/o congelamiento y deshielo. La presencia de sulfatos y cloruros en el agua de mar requiere el uso de concretos de baja permeabilidad para minimizar la corrosión del acero de refuerzo y el ataque de sulfatos.

- Cloruros y corrosión del acero

La alta alcalinidad del concreto como material, especialmente por el hidróxido de calcio que contiene, previene la corrosión del acero de refuerzo mediante la formación de una delgada película protectora de óxido de hierro en la superficie del metal.

No obstante, si el concreto es permeable y permite que los cloruros solubles penetren en el concreto y en combinación con agua y oxígeno, se promueve la corrosión en el acero de refuerzo. La capa de protección se destruye, se forma herrumbre y el incremento del volumen causará agrietamiento y astillamiento del concreto.

- Porácidos

El ataque de porácidos se da especialmente en climas muy calientes y en los alcantarillados por acción de las bacterias que se desarrollan en las aguas negras, generando gas de hidrogeno sulfuroso que se disuelve en el agua. La resistencia al ataque de los ácidos se puede mejorar dejando secar el concreto antes de su exposición, de manera que forme una capa de carbonato de calcio que bloquee los poros y ayude a reducir la permeabilidad en la superficie.

- Reacción álcali-agregado

La reacción álcali-agregado es un fenómeno que ataca al concreto endurecido elaborado con ciertos agregados silíceos y algún tipo de rocas sedimentarias, que reaccionan con los álcalis provenientes principalmente del cemento, en presencia de humedad constante

“Esta reacción origina un gel alrededor de las partículas gruesas, que van hinchándose cada vez más, rompiendo la estructura interna del concreto y ocasionando desintegración de la estructura.”⁸

⁸ BUSTAMANTE ROMERO, Iskra Guisele. *Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú.* http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8804/BUSTAMANTE_ISKRA_AGUA_CEMENTO_PERMEABILIDAD_CONCRETO.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Consulta: 25 de febrero de 2020.

4. DURABILIDAD DEL CONCRETO

4.1. Factores que intervienen y perjudican la durabilidad del concreto

Durabilidad es la capacidad que el concreto de una estructura posee para mantener su forma original, permitiendo resistir a la acción del ambiente, al ataque de agentes químicos, meteorización, interperismo y abrasión, permitiendo conservar su forma original, su calidad y con ello sus debidas propiedades de servicio.

La reducción de dicha durabilidad en el concreto estará en co-dependencia de factores como el medio ambiente en el que se vea expuesto, adicionalmente existen factores internos y factores externos (físicos/químicos), que incurren en el deterioro de las propiedades y condiciones de durabilidad en el concreto durante largos periodos de tiempo.

Los factores externos pueden ser físicos y químicos; originados por condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, desgaste, acción electrolítica, ataques por líquidos y gases de origen natural o industrial.

Los factores internos pueden ser originados por: reacción álcali-agregados, cambios de volumen debido a gradientes térmicos del agregado y pasta de cemento, la estructura interna de los poros y el contenido de agua en la mezcla del concreto fresco.

Estos factores a su vez son parámetros determinados en su mayoría por la permeabilidad del concreto, la mayoría de estos factores se presentan en combinación manifestándose en la aparición de manchas, eflorescencias, deformaciones, fisuras, desprendimiento de porciones representativas de la estructura de concreto, daños y corrosión en el acero de la estructura.

Es poco probable que el deterioro del concreto se deba a una causa aislada, en su mayoría cuando el concreto posee alteraciones en sus propiedades, son el resultado de la suma de dos o más factores los que permiten que el daño en el concreto ocurra.

4.1.1. Factores externos e internos

A continuación, se realiza una explicación de factores externos e internos.

4.1.1.1. Factores externos

- Ataque de congelamiento y deshielo

Los efectos adversos producidos por congelamiento y deshielo son uno de los problemas principales de decrementos en la durabilidad del concreto. El deterioro puede ser producido por dilatación del agua de la pasta de cemento, la dilatación de algunas partículas del agregado o la combinación de ambas.

La inclusión de aire bajo ciertas condiciones especiales, mejora la resistencia a este tipo de ataques y deterioros. La dilatación destructiva del agua de la pasta durante la congelación la absorbe el concreto con aire incluido, las burbujas de aire de la pasta son equivalentes a cámaras en las que se disipa la fuerza expansiva. Cuando se congela el concreto expuesto a la humedad durante

un largo tiempo, lo suficiente como para saturar algunas partículas del agregado grueso, pueden generarse presiones hidráulicas destructivas.

El agua es desalojada de estas partículas del agregado, durante la formación de hielo, y no puede escapar con suficiente rapidez a través de la pasta de cemento que la rodea y así evitar que se produzca esta presión. Bajo casi todas las condiciones de exposición a la intemperie, una pasta de buena calidad, con baja relación agua-cemento, puede impedir que las partículas del agregado se saturen.

Si la pasta contiene aire, este puede alojar las pequeñas cantidades en exceso de agua que son expulsadas del agregado, protegiendo así el concreto de los daños producidos por el congelamiento y deshielo.

- Desgaste

Las principales causas de erosión en las superficies del concreto son:

- Movimiento de materiales abrasivos por medio del agua en movimiento.
- Acción del tráfico, si fueran concretos para pavimentos.
- Cavitación (formación, movimiento y colapso de burbujas de agua en obstrucciones o cambios de alineamiento en estructuras hidráulicas).

“Para que el concreto sea resistente al desgaste debe tener una relación de agua-cemento baja, un mínimo contenido de agua y un curado adecuado. La resistencia del agregado grueso debe ser compatible con la de la matriz cementante. Un método usado normalmente para evaluar la dureza de un

agregado consiste en determinar la resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles.”⁹

En el concreto permeable, a diferencia del concreto convencional, la cantidad de pasta es limitada y por esta razón, la resistencia depende de los contactos entre los agregados. Estos contactos se pueden obtener usando agregados lisos y redondeados de río, indican que estos agregados, por su forma y textura, disminuyen la cantidad de vacíos en comparación con las mezclas que utilizan agregados angulosos y rugosos. Las resistencias aumentan, porque existe un menor contenido de vacíos en el material y esto genera trabazón entre las partículas.

En el caso de la permeabilidad, no existen diferencias importantes entre el uso de agregados de forma redondeada o angulosa. Las granulometrías más uniformes y de tamaño máximo menor disminuyen la permeabilidad del concreto poroso, pero que su efecto no es tan pronunciado como la ganancia en resistencia que se requiere.

Los agregados ocupan alrededor del 75 % del volumen absoluto del concreto, por lo tanto, tienen gran influencia en las propiedades del mismo. No sólo limitan la resistencia del concreto en muchos casos, sino que sus propiedades también afectan al desempeño del mismo durante su vida útil (durabilidad). Mientras mayor cantidad de agua demande la granulometría para una cierta trabajabilidad, mayor será la permeabilidad del concreto frente a sustancias agresivas que lo penetren y lo deterioren; por lo tanto, menor será la durabilidad.¹⁰

⁹RIVERA, Gerardo. *Concreto simple*. <https://issuu.com/exonsalazarvalderrama5/docs/tecnologia-concreto-y-mortero-river>. Consulta: 22 de junio de 2020.

¹⁰MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto*. Parte I. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1576/PS%20Mattio%2C%20Mar%20C3%ADa%20Eugenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consulta: 22 de junio de 2020.

El daño del concreto puede ser debido a reacciones químicas expansivas entre los álcalis del cemento y ciertos minerales en los agregados que contengan sílice (ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita), y ciertas rocas volcánicas (riolita, andesita, dacita). Un agregado que contenga estos materiales en cantidades pequeñas podría ser perjudicial para el concreto. Es por esto que existen diversas pruebas de laboratorio para confirmar o descartar la potencialidad de reacción de ciertos agregados.

- Ataques por líquidos y gases de origen natural o industrial

Un concreto permeable es propenso a su desintegración y contaminación debido a reacciones químicas agresivas (lixiviación, eflorescencia) en el concreto, ya sea por agua (sulfatos, cloruros, agua de mar, líquidos ácidos, entre otros.), o por gases (dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno, entre otros), que penetran en sus poros.

La fácil penetración de líquidos naturales o industriales en un concreto de alta permeabilidad promueve que estos se mezclen con minerales peligrosos de los agregados y del ambiente y generen reacciones químicas con los componentes propios del cemento, presentando daños dependientes del grado de exposición, en muchas situaciones irreparables para el concreto.

En la mayoría de las ocasiones el concreto se deforma, se quiebra, pierde su color original, cristalización de partículas de agua en el concreto, desintegración, erosión y humedad superficial, entre otros.

4.1.1.2. Factores internos

- Porosidad del concreto

El concreto, al fraguar, y como consecuencia del endurecimiento de la pasta de cemento, queda constituido como un material delimitado por toda una serie de poros y capilares, siendo entonces un material poroso. Este hecho es de gran importancia en relación a la durabilidad: por un lado, la acción de los agentes agresivos comienza en la superficie del concreto, desarrollándose más tarde en el interior a través de los poros; por otro lado, la superficie interna de los poros es muchas veces mayor que la superficie exterior del concreto, ampliando así drásticamente la superficie de ataque para los agentes agresivos.

En definitiva, la estructura de poros del concreto determina en gran manera la intensidad de su interacción con el medio agresivo, si el concreto posee una estructura de poros inadecuada, este se verá más afectado por las heladas, el ataque de penetración de agua, el ataque de suelos agresivos, penetración de sustancias químicamente peligrosas, entre otros.

Para entender y determinar la magnitud de poros en el concreto es importante el estudio de tres aspectos:

- Volumen total de poros
- Distribución en los diferentes tamaños de poro
- Grado de accesibilidad a los poros desde el exterior y su interconexión con el interior.

Un cuerpo poroso como el concreto presenta dos tipos diferentes de huecos: los que pueden ser accesibles o abiertos y con comunicación con el exterior. Por otro lado, los huecos inaccesibles o cerrados y aislados del exterior.

- Tipos de porosidad

Porosidad total: es la fracción del volumen total de concreto ocupada por los poros.

Porosidad abierta: es la parte de la porosidad total que comprende los poros conectados con el exterior.

Porosidad permeable: es la parte de la porosidad abierta que corresponde a poros intercomunicados entre sí, permitiendo el paso de un fluido al interior del concreto.

Porosidad superficial: Es la parte de porosidad abierta que corresponde a poros no comunicados con otros, no permitiendo el paso de fluido.

Porosidad cerrada: Es la parte de la porosidad total que incluye los poros no conectados con el exterior y, por tanto, inaccesibles al medio agresivo externo.

El conocimiento de la estructura porosa puede dar una visión de la microestructura y comportamiento del material de una manera más ilustrativa y representativa, respecto de la forma en la que se encuentran distribuidos los tamaños de poros en el volumen total.¹¹

¹¹ GARCIA de ARIBA, Raúl. y DÍEZ SAGRADO, Joaquín. *Determinación de la porosidad y la permeabilidad del concreto endurecido.* <http://www.hormigonyacero.com/index.php/ache/article/view/570>. Consulta: 15 de julio de 2020.

- Contenido de agua en el concreto y relación agua-cemento

El agua es un agente primordial tanto para la creación, como para el deterioro del concreto. El agua puede ser vehículo de transporte de sustancias nocivas, que pueden ser fuente de procesos de degradación química y daños irreparables para el concreto. El hecho de realizar una mezcla de concreto sin conocer los niveles de potabilidad del agua con la que se realizará la mezcla, trae desde un inicio, perjuicios y daños en el concreto que será elaborado con aquella.

Para obtener concretos sanos, y libres de sustancias nocivas, se debe de elaborar el concreto con agua que no posea mal olor ni color, en ciertos casos especiales se puede llegar a utilizar agua para el concreto que no sea potable en el ámbito de la construcción. La figura 3 muestra seis análisis típicos de abastecimiento (suministro) de agua de algunas ciudades y agua de mar para los EE.UU. y Canadá, que poseen composición similar al agua de abastecimiento doméstico para la mayoría de las ciudades con más de 20 000 personas.

El agua de cualquiera IEZ de esta fuente se considera como adecuada para la preparación de concreto. Una fuente de agua con análisis equivalente a cualquiera de las aguas en la figura 3, es probablemente satisfactoria para el uso en concreto.

Tabla III. **Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades y agua de mar / partes por millón**

Sustancia química	Análisis No.						Agua de mar*
	1	2	3	4	5	6	
Sílice (SiO ₂)	2.4	0.0	6.5	9.4	22.0	3.0	—
Hierro (Fe)	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	—
Calcio (Ca)	5.8	15.3	29.5	96.0	3.0	1.3	50 a 480
Magnesio (Mg)	1.4	5.5	7.6	27.0	2.4	0.3	260 a 1410
Sodio (Na)	1.7	16.1	2.3	183.0	215.0	1.4	2190 a 12,200
Potasio (K)	0.7	0.0	1.6	18.0	9.8	0.2	70 a 550
Bicarbonato (HCO ₃)	14.0	35.8	122.0	334.0	549.0	4.1	—
Sulfato (SO ₄)	9.7	59.9	5.3	121.0	11.0	2.6	580 a 2810
Cloruro (Cl)	2.0	3.0	1.4	280.0	22.0	1.0	3960 a 20,000
Nitrato (NO ₃)	0.5	0.0	1.6	0.2	0.5	0.0	—
Total de sólidos disueltos	31.0	250.0	125.0	983.0	564.0	19.0	35,000

Fuente: KOSMATKA, S. H., PANARESE, W. C. y BRINGAS, M. S. *Diseño y control de mezclas de concreto*. p. 125.

En Guatemala, se pueden tomar los parámetros propuestos en la norma COGUANOR NGO 29001:99 1ª. Revisión. Para la determinación de la potabilidad del agua, en la región.

Figura 3. **Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades correspondientes a sustancias químicas nocivas en el agua y sus límites aceptables y máximos permisibles**

Característica	LMA, en miligramos/litro	LMP, en miligramos / litro
Fluoruro (F)	---	1.700
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Nitrato (NO ₃ ⁻)	---	10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	---	1

Fuente: COGUANOR NGO 29001:99 *Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades correspondientes a sustancias químicas nocivas en el agua y sus límites aceptables y máximos permisibles*. p. 125.

Figura 4. **Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades**

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1 500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L
(1)	El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de <i>Escherichia coli</i> y ciertos virus.	
(2)	En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.	
(3)	En unidades de pH.	

Fuente: COGUANOR NGO 29001:99. *Análisis del agua de abastecimiento de las ciudades.*

p. 101.

Figura 5. **Correspondientes a sustancias inorgánicas nocivas en el agua y sus límites aceptables y máximos permisibles**

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN ⁻)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Plomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

Fuente: COGUANOR NGO 29001:99. *Sustancias inorgánicas nocivas en el agua y sus límites aceptables y máximos permisibles.* p. 130.

Una vez se tenga certeza de que el agua que se está utilizando para la elaboración de concreto es la que brinda parámetros aceptables de pureza y calidad, es muy importante reconocer que la relación que existe entre el agua y el cemento es uno de los factores más importantes que determinan la resistencia en el concreto.

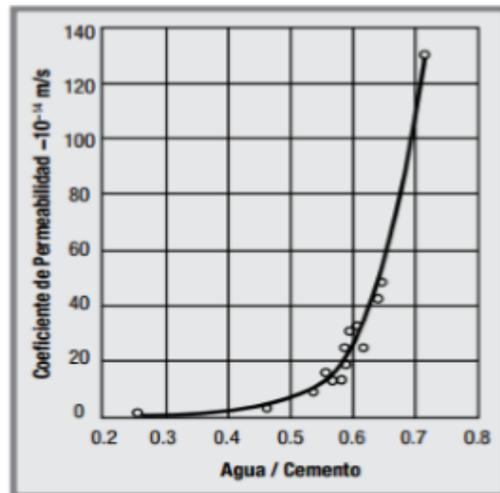
Es de suma importancia para la durabilidad del concreto controlar su elaboración para asegurar que este sea lo menos permeable posible a lo largo de su vida útil.

- Influencia de la relación agua-cemento

Con menores relaciones de agua-cemento, la concentración creciente de partículas de cemento en la pasta deja menos espacio entre ellos para ser ocupados por el agua, al estar más unidos unos con otros. Inicialmente el espacio entre las partículas de cemento forma una red continua llena de agua, formada por los poros capilares.

A medida que las partículas de cemento se van hidratando, generan cristales que bloquean los poros y esto hace al concreto menos permeable. Los poros pequeños son bloqueados más fácilmente que los grandes, y mientras más partículas de cemento se tengan (menor relación a/c) el bloqueo será mayor, con lo que se consigue una menor permeabilidad y un concreto más durable.

Figura 6. **Relación de agua-cemento y permeabilidad en el concreto**



Coeficiente de permeabilidad al agua en función de la relación a/c.

Fuente: MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto. Parte I.* p. 50.

Figura 7. **Relación de agua-cemento y resistencia en el concreto**

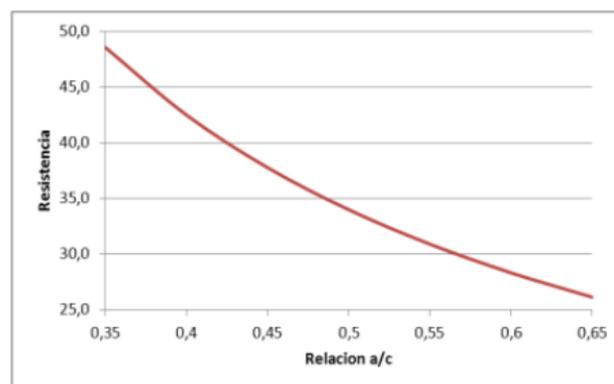


Figura 1: Resistencia vs. relación a/c.

Fuente: MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto. Parte I.* p. 50.

4.2. Categorías de exposición

La durabilidad del concreto se ve afectada por la capacidad del concreto de resistir a la penetración de fluidos. Si se ve desde el punto de vista estrictamente del material, esta capacidad es influenciada, entre otros factores, por la relación agua-cemento y la composición de los materiales cementantes utilizados en el concreto.

Para una relación a/c dada, el uso de ceniza volante, cemento de escoria, humo de sílice, puzolana natural, o una combinación de estos materiales, usualmente aumenta la resistencia del concreto a la penetración de fluidos y mejora la durabilidad del concreto.

El reglamento del ACI 318-14, hace énfasis en la relación a/c para alcanzar una baja permeabilidad requerida para cumplir con los requisitos de durabilidad necesarios en el concreto.

Las categorías y clases de exposición están definidas en el ACI 318-14, en el capítulo No.19, en la tabla 19.3.1.1, y en la tabla No. 19.3.2.1 se encuentran los requisitos necesarios que debe cumplir el concreto según la categoría y clase de exposición en que se encuentre.

El Reglamento incluye cuatro categorías de exposición que afectan los requisitos del concreto para asegurar una durabilidad adecuada:

- Categoría de exposición F

Aplica para concreto exterior expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo, con o sin productos químicos descongelantes.

- Categoría de exposición S

Aplica para concreto en contacto con suelo o agua que contenga cantidades perjudiciales de iones sulfatos solubles en agua.

- Categoría de exposición W

Aplica para concreto en contacto con agua, pero no está expuesto a congelamiento y deshielo, cloruros o sulfatos.

- Categoría de exposición C

Aplica para concreto no preesforzado y preesforzado expuesto a condiciones que requieren protección adicional del refuerzo contra la corrosión.

Tabla IV. Categorías y clases de exposición del concreto

Tabla 19.3.1.1 — Categorías y clases de exposición

Categoría	Clase	Condición	
Congelamiento y deshielo (F)	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad	
	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
Sulfato (S)		Sulfatos solubles en agua (SO_4^{2-}) en el suelo, % en masa^[1]	Sulfato (SO_4^{2-}) disuelto en agua, ppm^[2]
	S0	$SO_4^{2-} < 0.10$	$SO_4^{2-} < 150$
	S1	$0.10 \leq SO_4^{2-} < 0.20$	$150 \leq SO_4^{2-} < 1500$ o agua marina
	S2	$0.20 \leq SO_4^{2-} \leq 2.00$	$1500 \leq SO_4^{2-} \leq 10000$
	S3	$SO_4^{2-} > 2.00$	$SO_4^{2-} > 10000$
En contacto con el agua (W)	W0	Concreto seco en servicio Concreto en contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	W1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
Protección del refuerzo para la corrosión (C)	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

^[1]El porcentaje en masa de sulfato en el suelo debe determinarse por medio de la norma ASTM C1580.

^[2]La concentración de sulfatos disueltos en agua en partes por millón debe determinarse por medio de la norma ASTM D516 ó la norma ASTM D4130.

Fuente: Norma ACI 318SUS-14. *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. p. 34.

Tabla V. Requisitos para el concreto según las categorías y clases de exposición

Tabla 19.3.2.1 — Requisitos para el concreto según la clase de exposición

Clase de Exposición	Relación a/mc máx. ^[1]	f'_c Mínimo lb./pulg. ²	Requisitos mínimos adicionales			Límites en los Materiales cementantes
			Contenido de aire			
F0	N/A	2500	N/A			N/A
F1	0.55	3500	Tabla 19.3.3.1			N/A
F2	0.45	4500	Tabla 19.3.3.1			N/A
F3	0.40 ^[2]	5000 ^[2]	Tabla 19.3.3.1			26.4.2.2(b)
			Tipos de material cementante ^[3]			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157	
S0	N/A	2500	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.50	4000	II ^[4]	Tipos IP, IS o IT con designación (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	4500	V ^[5]	Tipos IP, IS o IT con designación (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	4500	V más puzolanas o cemento de escoria ^[6]	Tipos IP, IS o IT con designación (HS) más puzolanas o escoria ^[6]	HS más puzolanas o escoria ^[6]	No se permite
W0	N/A	2500	Ninguna			
W1	0.50	4000	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl ⁻) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento ^[7]		Requisitos adicionales	
			Concreto no preesforzado	Concreto preesforzado		
C0	N/A	2500	1.00	0.06	Ninguno	
C1	N/A	2500	0.30	0.06		
C2	0.40	5000	0.15	0.06	Recubrimiento de concreto ^[8]	

[1] Los límites para la máxima relación a/mc en la Tabla 19.3.2.1 no aplican a concreto liviano.

[2] Para concreto simple, la máxima a/mc debe ser 0.45 y el mínimo f'_c debe ser 4500 lb./pulg.²

[3] Las combinaciones alternativas de materiales cementantes de la Tabla 19.3.2.1 se permiten cuando se ensayen para resistencia a los sulfatos y en el cumplimiento de 26.4.2.2(c).

[4] Para exposición a agua marina, se permiten otros tipos de cemento pórtland con aluminato tricálcico (C₃A) hasta de 10 por ciento si la relación a/mc no excede 0.40.

[5] Se permiten otros tipos disponibles de cemento tales como Tipo I o Tipo III en las Clases Exposición S1 ó S2 si el contenido de C₃A es menos del 8 por ciento en la Clase de Exposición S1 o menos de 5 por ciento en la Clase de Exposición S2.

[6] La cantidad a usar de la fuente específica de puzolanas o cemento de escoria debe ser al menos la cantidad que se haya determinado por medio del registro de servicio para mejorar la resistencia a los sulfatos cuando se utilice en concreto que contenga cemento Tipo V. Alternativamente, la cantidad a usar de la fuente específica de puzolanas o cemento de escoria debe ser al menos la cantidad que se haya determinado por medio del ensayos de la mezcla hechos cumpliendo la norma ASTM C1012 y de acuerdo con el criterio dado en 26.4.2.2(c).

[7] El contenido de ion cloruro soluble en agua que contribuyen los ingredientes incluyendo el agua, agregados, materiales cementantes y aditivos debe determinarse en la mezcla de concreto por medio de la norma ASTM C1218 a una edad entre 28 y 42 días.

[8] El recubrimiento de concreto debe cumplir con 20.6.

Fuente: American Concrete Institute, ACI 318SUS-14. *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. p. 40.

Un concreto se considera suficientemente impermeable al agua según el Reglamento del Gobierno Español (EHE 08), si los resultados del ensayo de penetración del agua cumplen con la siguiente condición de exposición ambiental y penetración máxima y media.

Figura 8. **Casos de exposición ambiental y especificaciones de profundidades de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido máximas y medias (mm) (EHE 08)**

Clase de exposición ambiental	Especificación para la profundidad máxima	Especificación para la profundidad media
IIIa, IIIb, IV, Qa, E, H, F, Qb (en el caso de elementos en masa o armados)	50 mm	30 mm
IIIc, Qc, Qb (solo en el caso de elementos pretensados)	30 mm	20 mm

Fuente: BUSTAMANTE, Romero. *Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú*. p. 48.

4.3. Tratamientos de protección

A continuación, se describen los tratamientos de protección para el concreto.

4.3.1. Tratamientos de protección para el concreto

Existen diversas sugerencias y medidas de protección aplicables para la durabilidad en el concreto:

- Colocación

La colocación del concreto es de suma importancia para mantener la durabilidad en el concreto. Se deben de tener previstas acciones que eviten la segregación, desprendimiento, irregularidades en la sección del elemento fundido, entre otros. Si se logra llevar a cabo el colocado del concreto de manera satisfactoria y se cumple con la consolidación del concreto, se está garantizando la durabilidad del concreto.

El concreto se debe colocar de forma continua lo más cerca posible de su posición final evitando segregación. Cuando se deban fundir elementos estructurales de secciones grandes, la colocación debe empezar a lo largo del perímetro y en un extremo de la sección, descargando cada bachada contra el concreto colocado anteriormente.

No se debe de verter el concreto en pilas separadas para luego nivelarlo y trabajarlo simultáneamente, ni tampoco se debe colocar el concreto en pilas grandes y moverlo horizontalmente para su posición final. Tales prácticas resultan en segregación, pues el mortero tiende a fluir adelante del material grueso. En general, se debe colocar el concreto en muros, losas gruesas o cimentaciones en capas horizontales de espesor uniforme y cada capa se debe consolidar totalmente antes de la colocación de la próxima capa.

La velocidad de colocación debe ser suficientemente rápida para que el concreto colocado previamente no haya fraguado cuando se coloque la capa siguiente sobre él. La colocación oportuna y la consolidación adecuada previenen recorrido de flujo, juntas y planos de debilidad (juntas frías) que resultan de la colocación de concreto fresco sobre el concreto que haya fraguado.

Cuando se coloca el concreto en formaletas altas a velocidades elevadas, se puede acumular agua de exudación en la superficie, especialmente en el concreto sin aire incluido (incorporado). Se puede reducir la exudación disminuyéndose la velocidad de colocación y con el uso de mezclas con consistencia más secas, principalmente en las partes inferiores de las formaletas.

En la colocación monolítica de vigas de gran peralte, muros o columnas, la colocación del concreto debe parar (normalmente cerca de una hora) para permitir el asentamiento de los elementos peraltados antes que la fundición continúe en cualquier losa, viga o pórtico dentro de ellos, evitando el agrietamiento (fisuración) entre los elementos estructurales.

- Curado

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que (1) el cemento no hidratado aún esté presente, (2) el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80 %, (3) la temperatura del concreto permanezca favorable y (4) haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación. Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja de aproximadamente 80 % o la temperatura del concreto baja a menos de cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen.

Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (deseccación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo. La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia.

Los concretos, en ambientes internos, normalmente secan completamente después del curado y no continúan desarrollando resistencia.

- Selección e implementación de estructuras adecuadas

En un proyecto de construcción se definen esquemas estructurales, en donde las formas geométricas y los detalles que se le asignen a la estructura deben de contar con diseños que sean especialmente resistentes a la acción del agua y en la mejor de las consideraciones se evite el mínimo contacto directo entre ésta y el concreto.

Se deben de considerar estructuras que cuenten con medidas de evasión contra salpicaduras, encharcamientos, así como contar con medidas de rápida evacuación del agua, sistemas adecuados para conducción y drenado del agua, sobre todo en zonas de sellos y juntas entre elementos elaborados con concreto.

- Protecciones en el concreto para casos especiales

Existen casos particulares en donde la exposición al ambiente y agua, requiere condiciones especiales, en las que contar con todo tipo de propiedad óptima y cumplimiento de especificaciones del concreto no son suficientes y se requieren consideraciones adicionales, entre las que se encuentran:

- Aplicación de revestimientos superficiales con productos específicos para la protección del concreto.
- Protección del concreto con revestimientos galvanizados, de acero inoxidable, entre otros.

4.3.2. Aditivos para el concreto

Los aditivos son sustancias procesadas y elaboradas con elementos externos a la composición tradicional del concreto que, además del cemento, del agua y de los agregados, se mezclan en conjunto en su estado fresco, donde se espera que, al utilizarlos, estos puedan brindar una mejora en las propiedades del concreto y sobre todo tener seguridad de que el concreto que se está elaborando cumplirá con el servicio deseado.

De contar con el objetivo de garantizar el servicio requerido en el concreto, los aditivos también pueden llegar a considerarse para reducción del costo en la producción de concreto, la obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras, calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en condiciones de clima adverso y la superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado; a pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción y diseño de mezcla para concreto.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

- Clasificación de aditivos:
 - Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)

- Aditivos reductores de agua
- Plastificantes (fluidificantes)
- Aditivos aceleradores (acelerantes)
- Aditivos retardadores (retardantes)
- Aditivos de control de la hidratación
- Inhibidores de corrosión
- Reductores de retracción
- Inhibidores de reacción álcali-agregado
- Aditivos colorantes
- Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (maneabilidad), mejorar la adherencia, reducción de humedad, impermeabilizantes, adherencia, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

Tabla VI. **Aditivos para concreto**

Impermeabilizantes	Disminuir la permeabilidad	Látex Estearato de calcio
Inclusores (incorporador) de Aire	Mejorar la durabilidad en los ambientes sujetos a congelación-deshielo, sales, sulfatos y ambientes álcali reactivos Mejorar la durabilidad	Sales de resinas de madera (resina vinsol) Algunos detergentes sintéticos Sales de lignina sulfonatada Sales de ácidos de petróleo Sales de material protaináceo Ácidos grasos y resinosos y sus sales Sulfonatos de alquilbenceno Sales de hidrocarburos sulfonatados
ASTM C 280, AASHTO M 154, COVENIN 0357, IRAM 1663, NCh2182 Of1995, NGO 41089, NMX-C-200, NTC 3502, NTP 334.089, NGO 41016		
Inhibidor de reacción álcali-agregado	Reducir la expansión por reactividad álcali-agregado	Sales de bario, nitrato de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio
Inhibidor de Corrosión	Reducir la corrosión del acero en ambientes con alta concentración de cloruros	Nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, ciertos fosfatos y fluosilicatos, fluoaluminatos, esteramina
Purgador de aire (reductor de aire)	Disminuir el contenido de aire	Fosfato tributilo, ftalato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles en ácidos carbónico y bórico, silicones
Reductor de agua	Reducir en hasta 5% el contenido de agua	Lignosulfonatos Ácido carboxílico hidroxilato Carbohidratos (también tienden a retardar el fraguado, entonces normalmente se añade un acelerador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo A), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182 Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		

Continuación de la tabla VI.

Tipo de Aditivo y Normas	Efecto Deseado	Material
Acelerador	Acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana	Cloruro de calcio, (ASTM D 98 and AASHTO M 144) trietanolamina, tiocianato de sodio, formiato de calcio nitrito de calcio, nitrato de calcio
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo C), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NMX-C-356, NTC 1299 (tipo C), NTP 334.088		
Adherencia	Aumentar la resistencia de adherencia	Cloruro polivinilo, acetato polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno
Aditivo para Lechada	Ajustar las propiedades de la lechada para aplicaciones específicas	Consulte los aditivos inlosores de aire, aceleradores, retardadores y reductores de agua
Agente Espumante	Producir concreto ligero y concreto celular con baja densidad	Surfactantes catiónicos o aniónicos Proteínas hidrolizada
Anti-deslave	Aumentar la cohesión del concreto para su colocación bajo agua	Celulosa, polímero acrílico
A Prueba de Humedad	Retrasar la penetración de humedad en el concreto seco	Jabones de estearato de calcio o amonio u oleato Estearato butilo Productos de petróleo
Auxiliar de bombeo	Mejorar las condiciones de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos Bentonita y sílice pirogénica Cal hidratada (ASTM C 141)
Colorante	Producir concreto coloreado	Negro de humo modificado, óxido férrico, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio y azul cobalto
ASTM C 979, NMX-C 313, NTC 3760		
Control de Hidratación	Suspender y reactivar la hidratación del cemento con un estabilizador y un activador	Ácidos carboxílicos Sales de ácidos orgánicos conteniendo fósforo
Formador de gas	Causar expansión antes del fraguado	Polvo de aluminio
Fungicida, germicida e insecticida	Inhibir o controlar el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre

Aditivos de Concreto Según su Clasificación (Continuación)

Tipo de Aditivo y Normas	Efecto Deseado	Material
Reductor de agua y acelerador	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y acelerar el fraguado	Véase reductor de agua (se añade acelerador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo E), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua y retardador	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véase reductor de agua (se añade retardador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo D), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua de alto rango	Reducir en hasta 12% el contenido de agua	Véanse superplastificantes
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo F), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 1299, NTP 334.088,		
Reductor de agua de alto rango y retardador	Reducir en hasta 12% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véanse superplastificantes y reductores de agua
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo G), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua de medio rango	Reducir el contenido de agua de 6% a 12% sin retardo del fraguado	Lignosulfonatos Policarboxilatos
Reductor de contracción	Disminuir la contracción por secado	Éter alkil polioxilalileno Propileno glicol
Retardador	Retardar el tiempo de fraguado	Lignina Bórax Azúcares Ácido tartárico y sales
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo B), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299 (tipo B), NTP 334.088		
Superplastificante	Aumentar la fluidez del concreto Disminuir la relación agua-cemento	Formaldehido condensado de melamina sulfonato Formaldehido condensado de naftaleno sulfónico Lignosulfonatos Policarboxilatos
ASTM C 1017 (tipo 1), IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 4023 (tipo F), NTP 334.088		
Superplastificante y Retardador	Aumentar la fluidez del concreto con tiempo de fraguado retardado Disminuir la relación agua-cemento	Véanse superplastificantes y reductores de agua
ASTM C 1017 (tipo 2), IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 4023 (tipo G)		

Fuente: American Concrete Institute, ACI 318SUS-14. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. p. 50.

4.3.2.1. Aditivos impermeabilizantes

Los aditivos impermeabilizantes reducen la tasa en la cual el agua bajo presión se transmite a través de los poros del concreto. Uno de los mejores métodos para disminuir la permeabilidad del concreto consiste en el aumento del tiempo de curado húmedo y la reducción de la relación agua-cemento, en valores menores de 0,50. La mayoría de los aditivos que reducen la relación agua-cemento, como efecto, reducen también la permeabilidad. Se pueden llegar a considerar como aditivos o adiciones impermeabilizantes otros materiales cementantes suplementarios, principalmente el humo de sílice, este material debido a la reacción que genera con los otros agregados del concreto reduce la permeabilidad durante el proceso de hidratación y de la reacción puzolánica. Existen aditivos capaces de bloquear la capilaridad del concreto de una manera tan eficiente que permite la reducción de la corrosión en ambientes químicamente agresivos para el concreto donde su mayor incidencia radica en el acero como tal.

4.3.2.2. Aditivos reductores de agua

El paso del agua a través del concreto normalmente es una evidencia de la existencia de fisuras o de áreas con consolidación incompleta. Los aditivos conocidos como agentes reductores de agua pueden reducir, la permeabilidad del concreto con bajo contenido de cemento, alta relación agua-cemento o deficiencia de finos en los agregados. Los aditivos reductores de agua se usan, a veces, para reducir la transmisión de humedad a través del concreto que esté en contacto con el agua o con el suelo húmedo. Muchos de los llamados aditivos reductores de agua deben evitarse en concretos bajo presión de agua.

Con estos aditivos surgen dudas al momento de aplicarlo al concreto creyendo que se logrará reducir relación agua-cemento y la permeabilidad en el concreto, es por esto que es importante conocerlos y determinar la diferencia entre estos y los impermeabilizantes, desconocerlos puede promover una baja de desempeño en el concreto.

5. NORMATIVAS UTILIZADAS

5.1. Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión al concreto endurecido según Norma; ASTM C-642-92

La Norma Americana ASTM C-642-92 (COGUANOR NTG 41017 h21), permite determinar la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido. En este documento se utilizará la versión oficial, en español y actualizada en el 2000.

5.1.1. Alcance actual del ensayo

Esta norma permite obtener un método de ensayo que cubre las determinaciones tanto de la densidad como el porcentaje de absorción de agua y el porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.

- Equipo de ensayo

El equipo requerido para el uso de esta norma es una balanza que debe ser sensitiva en un 0,025 % de la masa del espécimen, recipiente adecuado para la inmersión del espécimen, un horno para secar el espécimen que sostendrá una temperatura $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

- Procedimiento

Se toma la muestra de una masa representativa del espécimen, que toma 24 horas en horno, posteriormente se pesa y luego se procede a tomar distintos

puntos comparativos en condiciones secas, saturadas y secos saturados para obtener las distintas masas que establezcan los parámetros idóneos o rangos en los que los especímenes con las relaciones de agua mantengan, y debe permanecer en los rangos establecidos según la norma.

5.2. Ensayo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir penetración de iones cloruros según Norma; ASTM C1202

La Norma Americana ATSM C1202 (COGUANOR NTG 41017h41), mide la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones cloruro. En esta norma se cubre la determinación de la conductancia eléctrica, monitoreando la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de rebanadas de 50 mm de espesor de núcleos o cilindros de 100 mm de diámetro nominal durante un período de 6 hrs. Se mantiene una diferencia de potencial de 60 voltios de corriente directa en los extremos de la muestra, uno de estos se sumerge en una solución de cloruro de sodio y el otro en una solución de hidróxido de sodio y a la carga total aprobada, en coulomb, se ha encontrado relacionada con la resistencia de la muestra a la penetración de iones cloruro.

5.2.1. Alcance actual del ensayo

Este método de prueba fue desarrollado originalmente para evaluaciones de materiales alternativos, pero en la práctica su uso ha evolucionado a aplicaciones tales como control de calidad y pruebas de aceptación por medio de la determinación de la conductancia eléctrica del concreto para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de iones cloruro.

- Especímenes de prueba

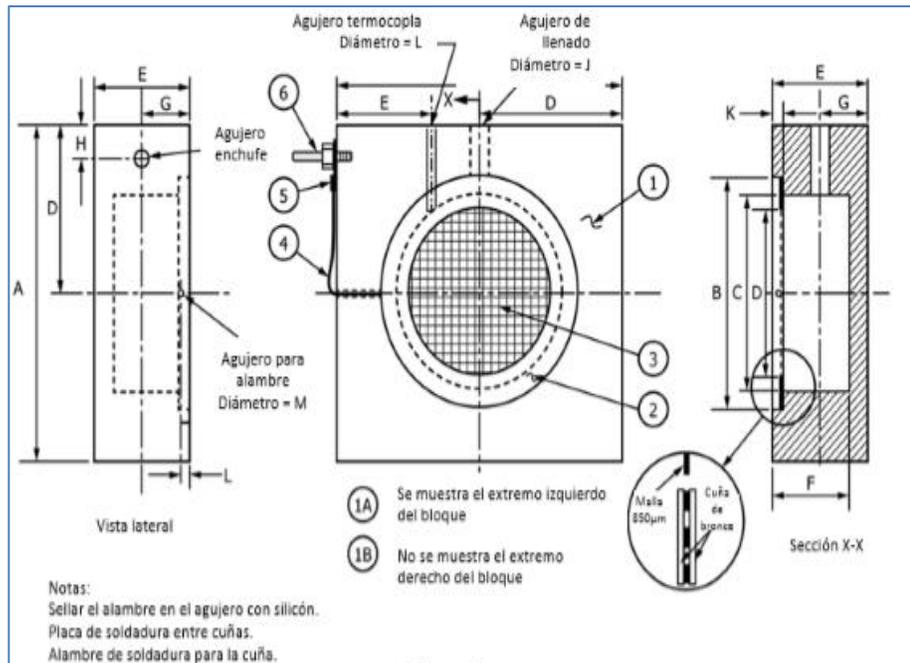
La preparación y selección de la muestra depende del propósito de la prueba.

Para la evaluación de materiales o sus proporciones, las muestras pueden ser:

- Núcleos de losas de prueba o de cilindros de gran diámetro
- Cilindros de fundición de 100 mm de diámetro
- Los detalles del método de prueba se aplican a muestras de 100 mm de diámetro nominal. Esto incluye muestras con diámetros reales que varían de 95 a 100 mm.

Para la evaluación de estructuras, las muestras deben ser núcleos de la estructura. Los cilindros moldeados en el laboratorio deben prepararse siguiendo los procedimientos de la práctica C192 / C192M.

Figura 9. **Equipo para indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro**



Dimensiones en mm

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
150	105	89	75	50	41	25	15	10	6	5	2.5

Listado de partes

No de ítem	Cantidad	Descripción	Especificación
1A	1	Final del bloque de celda	Polimetacrilato de metilo
1B	1		
2	4	Cuña de bronce	0.5 mm espesor
3	2	Pantalla de bronce	850 µm (Malla No.20)
4	2	Alambre de cobre	2 mm (calibre 14) forrado de nylon
5	2	Anillo para terminal	Alambre de 2 mm (calibre 14)
6	2	Conector	6.4 mm conector con rosca

Fuente: Norma ASTM C1202. *Equipo para indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.* p. 25.

- Resultados del ensayo
 - Se ha encontrado que el coeficiente de variación de un solo operador de un único resultado de prueba es del 12,3 %. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas realizadas adecuadamente por el mismo operador en muestras de concreto del mismo lote y del mismo diámetro no deberían diferir en más del 42 %.
 - Dado que los resultados de la prueba son una función de la resistencia eléctrica de la muestra, la presencia de acero de refuerzo u otros materiales eléctricamente conductores incrustados puede tener un efecto significativo. La prueba no es válida para muestras que contienen acero de refuerzo posicionado longitudinalmente, es decir, que proporcionan un camino eléctrico continuo entre los dos extremos de la muestra.
 - La edad de la muestra tiene efectos significativos en los resultados de la prueba, dependiendo del tipo de concreto y el procedimiento de curado. La mayoría de los concretos, si se curan adecuadamente, se vuelven progresivamente y significativamente menos permeables con el tiempo.
 - Aunque el método de prueba no requiere el informe de más de un resultado de la prueba, generalmente es deseable realizar pruebas con especímenes replicados. Se proporciona la declaración de precisión para los promedios de tres resultados, porque los laboratorios frecuentemente ejecutarán este número de especímenes.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1. Metodología

Con el fin de conseguir determinar la permeabilidad en el concreto elaborado con cemento hidráulico para uso general en la construcción, se elaboró un diseño de mezcla de concreto con materiales locales usando distintas relaciones de agua cemento (0,50, 0,65 y 0,80). Los agregados de la mezcla, fueron proporcionados del banco de materiales de AGRECA S.A. y se utilizaron los aditivos (retardantes y reductores de agua en rango medio, COGUANOR NTG 41070 y ASTM C494, (tipo B y D).

Se realizaron probetas de ensayos para la permeabilidad, resistencia en el concreto, y ensayo de resistencia de iones cloruro del concreto. Las probetas fueron evaluadas a los 7 y 28 días de edad. Se recolectó información obtenida de los ensayos realizados y se determinan las propiedades de permeabilidad en el concreto.

- Muestreo y recolección de agregados

Se tomaron en consideración cantidades representativas de agregado tanto grueso como fino siendo estos procedentes de AGRECA S.A. planta Palín oeste (PPO). El muestreo de estos agregados se realizó de acuerdo a la Norma ASTM D75, COGUANOR NTG 41007 (ASTM C33/C33M).

Nota:

- Se utilizó el mismo cemento hidráulico para uso general para cada mezcla.
- Se utilizó la misma fuente de agregados para cada mezcla.
- Se analizaron los agregados por humedad y absorción para asegurar la cantidad real de agua contenida en los agregados.

Figura 10. **Recolección de agregados del concreto**



Fuente: elaboración propia.

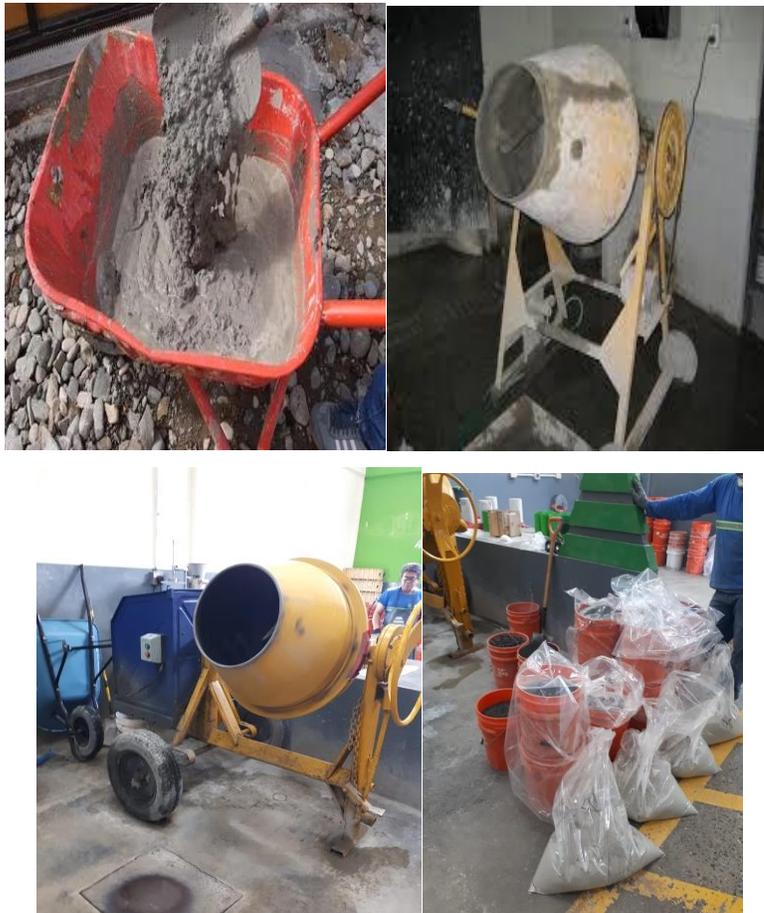
- **Material cementante**

Para todas las mezclas que se elaboraron se utilizó el mismo tipo de cemento, conocido como cemento de uso general en la construcción de acuerdo a la Norma de especificaciones por desempeño para cementos hidráulicos; COGUANOR NTG 41095 (ASTM C1157).

- **Diseño y elaboración de mezcla**

Con los datos procedentes de la caracterización de los materiales, se procedió a realizar el diseño de mezcla conforme a la guía que establece la práctica estándar para seleccionar proporciones de concreto propuestas en la Norma ACI 211.1.

Figura 11. **Pesaje y mezclado de componentes del concreto**



Fuente: elaboración propia.

- Ensayos para el concreto fresco

Al momento de realizar la mezcla, se hicieron pruebas al concreto fresco de acuerdo con lo recomendado y establecido en las normas siguientes; asentamiento (COGUANOR NTG 41052 / ASTM C143), masa unitaria (COGUANOR NTG 41017 h5 / ASTM C138), Temperatura (COGUANOR NTG 41053 / ASTM C1064), contenido de aire (COGUANOR NTG 41017 h7 / ASTM C231), entre otros, para tener la seguridad de que la mezcla y el concreto contaban con propiedades óptimas de calidad, previo a dejarlas en las pilas con agua para su curado final.

Figura 12. **Ensayos realizados al concreto fresco**



Fuente: elaboración propia.

- Ensayos de concreto endurecido
 - Se hicieron las pruebas de resistencia en el concreto a los 7 y 28 días de edad correspondiente a la norma (COGUANOR NTG 41017 h1 / ASTM C39).

- Se hicieron las pruebas de penetración de agua a presión en el concreto endurecido a los 28 días de edad en el concreto. Se ensayaron para cada relación agua–cemento tomada en cuenta para el análisis de la investigación.
- Se hicieron las pruebas de indicaciones eléctricas para resistencia a la penetración de iones de cloruro, a los 28 días de edad en el concreto.

Notas:

Los ensayos se realizaron en el laboratorio RIME SERVICIOS PROFESIONALES.

- Las relaciones agua-cemento trabajadas, fueron de 0,50, 0,65 y 0,80.

Figura 13. **Ensayos realizados al concreto endurecido**



Fuente: elaboración propia.

6.1.1. Equipo de ensayo

El equipo utilizado para los ensayos de análisis de la permeabilidad del concreto se presenta a continuación:

- Máquina de acuerdo a la Norma, COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C1202), para el ensayo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.

Figura 14. **Equipo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro**



Fuente: elaboración propia.

6.1.2. Procedimiento de ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión e indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro

Posterior a definir el diseño de la mezcla a utilizar y de realizar los ensayos al concreto fresco (asentamiento, temperatura, aire incorporado, densidad volumétrica), se llenaron los moldes respectivos para la elaboración de las probetas de ensayo y curado en pileta saturada de agua.

Después de 28 días de curado y endurecimiento del concreto, se realiza el aserrado de las probetas destinadas al ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión en el concreto.

Se efectuó un primer corte a la mitad de la altura del cilindro de ensayo de manera transversal a la altura de la probeta cilíndrica, para ensayarlos y mantener una superficie plana y lisa para exponer a la penetración de agua bajo presión.

Figura 15. **Ensayos realizados al concreto endurecido**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Valores de interpretación utilizados para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro**

Carga Pasada (Coulombs)	Penetrabilidad del ion cloruro
> 4,000	Alto
de 2,000 a 4,000	Moderado
de 1,000 a 2,000	Bajo
de 100 a 1,000	Muy bajo
< 100	Despreciable

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca, NTG 41017 h4.1 / ASTM C 1202. *Método de ensayo para la indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de ion cloruro.* p. 21.

6.2. Resultados obtenidos

En la tabla III se realiza una descripción de los ensayos en concreto fresco.

Tabla VII. Ensayos en concreto fresco

Características de las mezclas de concreto fresco			
	Mezcla No.1	Mezcla No.2	Mezcla No.3
Relación agua-cemento	0,50	0,65	0,80
Concreto en estado fresco			
Revenimiento final (plg)	7,00	7,25	7,50
Temperatura del concreto (°C)	24,7	25,2	25,9
Aire incluido (%)	1,3	1,2	1
Peso teórico	23,45	23,35	23,0
Peso real	20,58	20,45	20,28

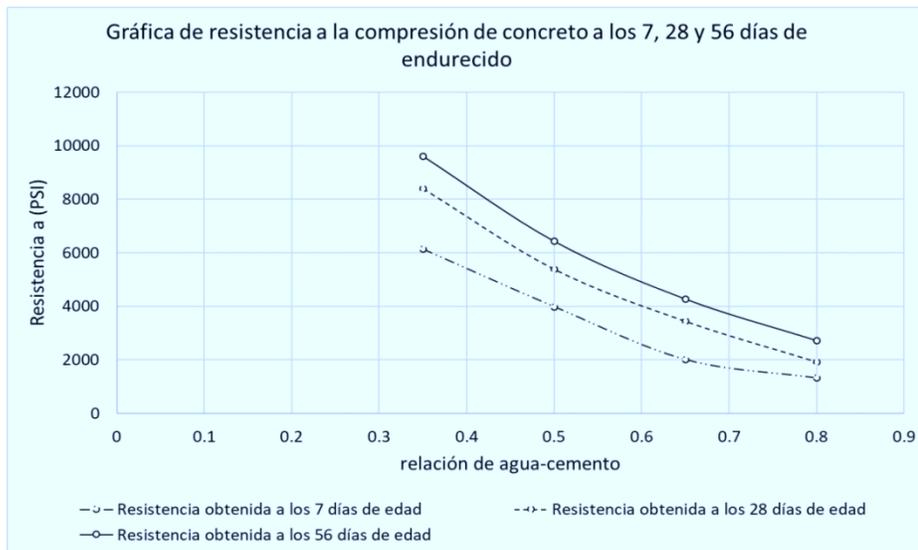
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto – NTG 41017 h1

Características de las mezclas de concreto endurecido						
Ensayo de resistencia a la compresión de testigos						
	Mezcla No. 1		Mezcla No. 2		Mezcla No. 3	
Relación a/c	0,50		0,65		0,80	
F'c a los 7 días	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(PSI)	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(PSI)	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(PSI)
Cilindro 1	26,3	3 835	13m5	1 965	8,5	1 240
Cilindro 2	28,7	4 155	14,1	2 050	9,7	1 400
Promedio	27	3 980	14	2 005	9	1 315
F'c a los 28 días	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(PSI)	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(PSI)	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(PSI)
Cilindro 1	38,3	5 575	23,9	3 475	12,9	1 860
Cilindro 2	35,9	5 195	23,5	3 405	13,7	1 980
Promedio	37	5385	24	3440	13	1920

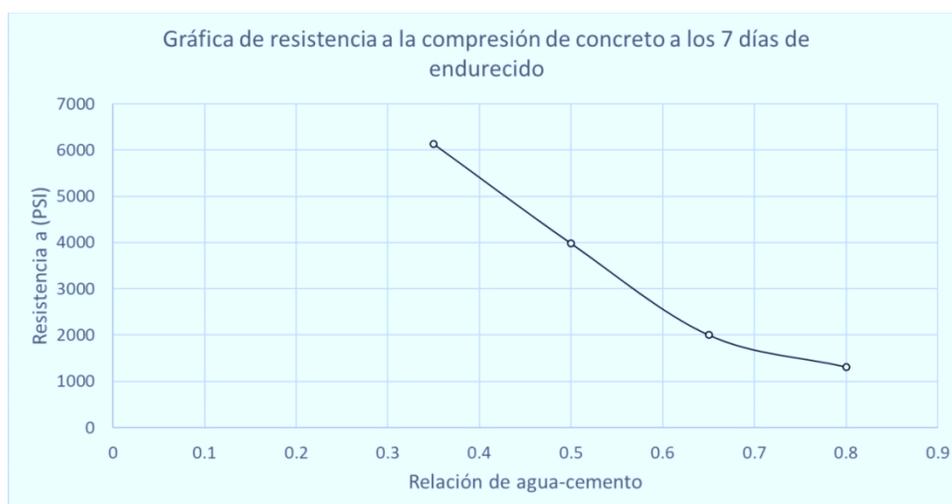
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Resistencia a compresión vs. relación agua-cemento



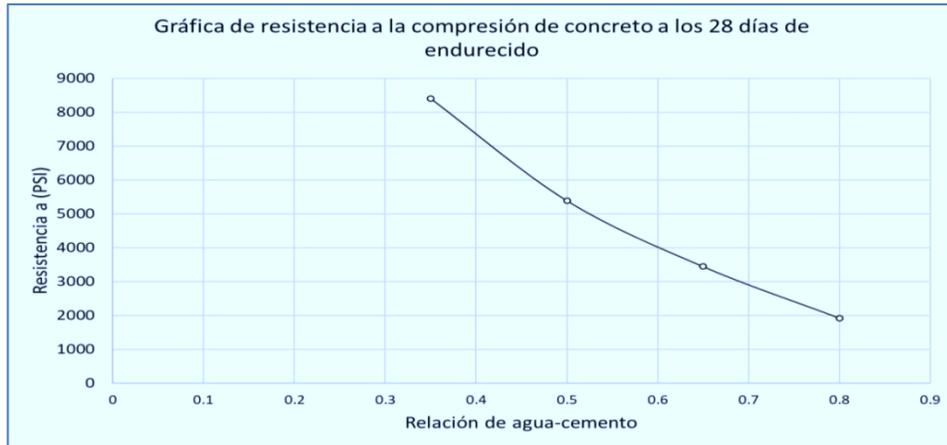
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Resistencia a compresión del concreto a 7 días de endurecido



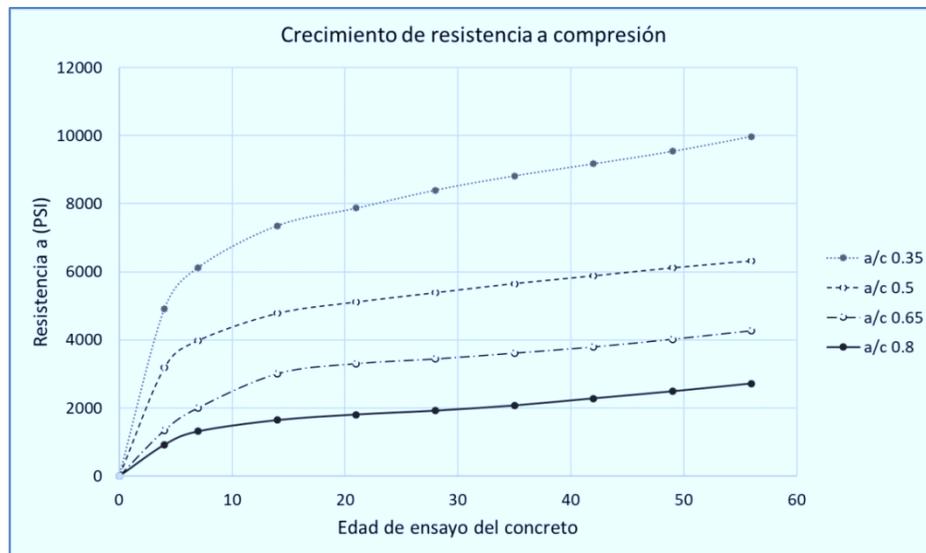
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Resistencia a compresión del concreto a 28 días de endurecido**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Replicación comparativa de resistencias a compresión en el concreto, con relaciones a/c de 0,50, 0,65 y 0,80**



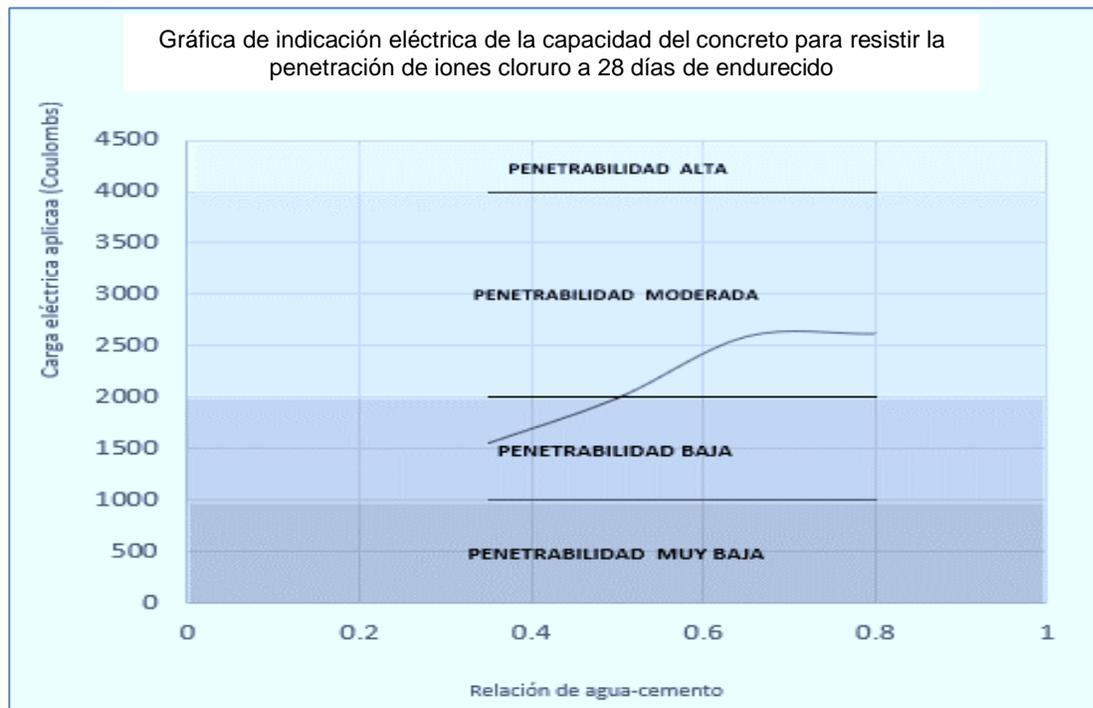
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro

Ensayo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro.			
Cargas eléctricas obtenidas a los 28 días de endurecimiento	Relación A/C	Carga eléctrica (Coulomb)	Penetrabilidad de iones de cloruro
Carga No.1	0,5	1995	Bajo
Carga No.2	0,65	2580	Moderado
Carga No.3	0,80	2610	Moderado

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro



Fuente: elaboración propia.

6.3. Análisis de resultados obtenidos

En la tabla III, se puede apreciar que la co relación existente entre la relación a/c y el asentamiento (slump), obtenido en las muestras del concreto fresco son directamente proporcionales, y en dicha co relación el porcentaje de aire incluido en las mezclas de concreto presentan un decremento en función al aumento de la relación A/C . Las demás características del concreto en estado fresco se comportaron de manera similares, no se obtuvieron variaciones significativas entre la densidad teórica del diseño de mezcla y la densidad real obtenida por el ensayo, por lo que es posible determinar un rendimiento adecuado en las mezclas analizadas.

En la tabla IV y en la figura 25, se puede observar que los resultados a compresión presentaron resistencias inversamente proporcionales a la relación a/c , es decir a mayor relación a/c la resistencia disminuye, en tanto si la relación a/c se mantiene en menor proporción la resistencia del concreto aumenta significativamente, permaneciendo la tendencia de los resultados obtenidos un aspecto casi lineal y decreciente en las edades analizadas (7 días y 28 días). Las figuras 23 y 24, presentan de manera individual el crecimiento de cada una de las relaciones a/c empleadas y el descenso de las resistencias.

En la figura 25 se presenta en una sola gráfica el crecimiento de las resistencias a compresión de todas las relaciones a/c con relación al tiempo de ensayo, en donde se observa que en todas las mezclas se obtuvo un aumento de resistencia significativo a edades tempranas en un corto periodo con comportamiento constante, pero con el paso del tiempo la velocidad de ganancia de resistencia se reduce hasta llegar a los 28 días, edad en la que se considera que el concreto ya alcanzo el 100 % de su resistencia, aunque esta sigue incrementando resistencia con el paso del tiempo, de forma más lenta.

En la tabla V y en la figura 26, se puede observar que las mezclas de concreto analizadas poseen en su mayoría una correlación directa para la transferencia de ion cloruro, es decir que a medida que la relación A/C crece en conjunto la transferencia de carga eléctrica por medio de sus agregados porque la pasta no sostiene la misma capacidad de mantener uniforme y unificada la mezcla. En la figura 26, se puede observar dicha correlación lineal creciente, sin embargo, no sobrepasa la penetrabilidad baja de ion cloruro, que se limita en la gráfica.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla IV, y de acuerdo con el contenido en la figura 11, el concreto mantiene resultados de penetración adecuados para considerarlo de baja permeabilidad.

Según los resultados obtenidos en la tabla V y según lo contenido en la figura 26, el concreto posee penetrabilidad de iones cloruro baja a los 28 días de endurecido.

CONCLUSIONES

1. El concreto elaborado con cemento hidráulico para uso general en la construcción para esta investigación se considera de baja permeabilidad de agua y penetrabilidad al ion cloruro, de acuerdo a los resultados obtenidos de la aplicación de los ensayos de acuerdo a las Normas COGUANOR NTG 41017h21 (ASTM C642-92) Y COGUANOR NTG 41017h41 (ASTM C1202), respectivamente.
2. Las indicaciones eléctricas de capacidad del concreto para resistir la penetración de ion cloruro fueron de; 988, 1 000 y 1 447 (coulomb), a los 56 días de endurecido para las relaciones a/c; 0,50, 0,65 y 0,80 respectivamente.
3. Los resultados obtenidos en este trabajo para el concreto en los dos ensayos citados fueron satisfactorios. Debido a que en general se observa que el uso de cemento hidráulico tipo UGC otorga a las mezclas de concreto, elaboradas buenas propiedades de resistencia al ataque de sustancias nocivas en presencia de ambientes o agentes agresivos. Es de hacer mención que sin un buen manejo de prácticas constructivas basadas en normativas y estándares que pueden ser nacionales o internacionales como la elaboración de mezcla, la selección adecuada de agregados, la correcta ejecución de los ensayos de laboratorio y campo para el concreto en estado fresco y endurecido, así como también la verificación del buen estado de los equipos, de acuerdo a lo establecido en las normativas correspondientes. Todos estos aspectos, complementando a la selección de un cemento con propiedades

adecuadas para resistir ambientes agresivos, permitieron que el concreto fuese lo suficientemente resistente a la penetración de agua a presión y del ion cloruro.

4. El método para analizar la penetración por medio de ion cloruro presenta un sistema de medición practico para obtener los resultados deseados de forma fácil, ya que las únicas contraindicaciones que pudiesen existir seria por la mala selección de agregados y cemento.

RECOMENDACIONES

1. La investigación se efectuó bajo condiciones de clima controlado y bajo especificaciones de diseño de mezclas para concreto elaborado con cemento hidráulico para uso general en la construcción, y sería adecuado reproducir el estudio con distintas relaciones agua-cemento, cemento de selección, agregados entre otras condicionantes a mejorar como selección para conseguir obtener un espectro más amplio en la evaluación del comportamiento de los concretos.
2. Debido a que la permeabilidad del concreto es una propiedad muy importante de estudiar y comprender, para garantizar la durabilidad y el buen desempeño del mismo, también es necesario hacer ensayos adicionales para conocer otras propiedades de la durabilidad del concreto ya que este dependerá del tipo de estructura que se construirá y los distintos tipos de exposición que tendrá. No se debe limitar el estudio solo a los dos métodos de ensayo efectuados en este trabajo.
3. En general, y en línea con el punto anterior, para la correcta ejecución de ambos ensayos, se recomienda que las probetas de ensayo se encuentren en óptimas condiciones, que estas no tengan desportillamientos, fisuras, deformaciones y otros defectos, para que los resultados obtenidos resulten confiables.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute, ACI 305R-10. *Efecto de la temperatura sobre el requerimiento del agua del concreto*. EE.UU.: Autor, 2010. 35 p.
2. Arqhys Construcción. *Mezclado del concreto*. [en línea]. <<http://www.arqhys.com/construccion/concreto-mezclado.html>>. [Consulta: febrero de 2021].
3. BUSTAMANTE ROMERO, Iskra Guisele. *Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú*. [en línea]. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8804/BUSTAMANTE_ISKRA_AGUA_CEMENTO_PERMEABILIDAD_CONCRETO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Consulta: 25 de febrero de 2020].
4. Cementos Portland, *Cementos adicionados y otros cementos hidráulicos*. [en línea]. <https://www.academia.edu/24610176/Cementos_CPA>. [Consulta: 25 de febrero de 2020].
5. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: DGC. 50 p.

6. GARCIA de ARIBA, Raúl. y DÍEZ, SAGRADO, Joaquín. *Determinación de la porosidad y la permeabilidad del concreto endurecido*. [en línea].
<<http://www.hormigonyacero.com/index.php/ache/article/view/570>>
[Consulta: 15 de julio de 2020].
7. GUZMÁN, V. *Manual de prácticas de concreto hidráulico*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad Veracruzana, México. 150 p.
8. KOSMATKA, Steven., KERKHOFF, Beatriz., PANARESE, William. y TANESI, Jussara. *Diseño y control de mezclas de concreto*. [en línea].
<https://issuu.com/daniel0252/docs/dise_o_y_control_de_mezclas_de_con>. [Consulta: 25 de febrero de 2020].
9. MATTIO, María Eugenia. *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del concreto-Parte I*. [en línea].
<<https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1576>. Consulta: 15 de febrero de 2021>. [Consulta: 15 de febrero de 2020].
10. Ministerio de Economía, Guatemala, C.A. Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR. *Norma COGUANOR NTG 41 017H1 Método de ensayo. determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. ASTM C39*. Guatemala: COGUANOR, 2018. 15 p.

11. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 017H5. Método de ensayo. determinación de la densidad aparente, rendimiento y contenido de aire del concreto. ASTM C138. Guatemala: COGUANOR, 9 p.
12. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 052 método de ensayo. determinación del asentamiento del concreto hidráulico. ASTM C143-08. Guatemala: COGUANOR, 9 p.
13. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 053 método de ensayo. medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado. ASTM c1064. Guatemala: COGUANOR, 2018. 5 p.
14. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 057 práctica para el muestreo de concreto recién mezclado. ASTM c172-08. 2018. Guatemala: COGUANOR, 7 p.
15. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 061 práctica para la elaboración y curado de especímenes .de ensayo de concreto en la obra. ASTM C31. Guatemala: COGUANOR, 2018. 14 p.
16. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 017-H16 método de ensayo. determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de poisson del concreto a compresión. ASTM C469-02. Guatemala: COGUANOR, 2018. 13 p.
17. _____ . Norma COGUANOR NTG 41 095. Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño. ASTM C1157. Guatemala: COGUANOR, 2019. 13 p.

18. _____ . *Norma COGUANOR NTG 41 007. Agregados para concreto. Especificaciones.* ASTM C33-08. Guatemala: COGUANOR, 2019. 24 p.
19. PÉREZ MONROY, Ismar José. *Permeabilidad del concreto, elaborado con cemento hidráulico para uso general, según normas UNE-EN 12390-8 y ASTM c1202, utilizando diferentes relaciones agua-cemento.* [en línea]. <<http://www.repositorio.usac.edu.gt/14126/1/Ismar%20Jos%C3%A9%20P%C3%A9rez%20Monroy.pdf>>. [Consulta: 22 de febrero de 2020].
20. RIVERA, Gerardo. *Concreto simple.* [en línea]. <<https://issuu.com/exonsalazarvalderrama5/docs/tecnologia-concreto-y-mortero-river>>. [Consulta: 22 de junio de 2020].
21. _____ . *Manejabilidad del concreto.* [en línea]. <<https://www.udocz.com/read/8628/tecnologia-concreto-y-mortero-rivera-pdf>>. [Consulta: 25 de febrero de 2020].
22. YELA QUIJADA, Jorge. *Métodos para proteger y curar el concreto.* [en línea]. <<http://blog.360gradosenconcreto.com/metodos-para-proteger-ycurar-los-pavimentos-de-concreto/>>. [Consulta: febrero de 2021].
23. _____ . *Protección y curado del concreto.* [en línea]. <http://es.slideshare.net/Lonely_xp/curado-del-concreto46858706>. [Consulta: febrero de 2021].

ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo de resistencia a la compresión de concreto; a los 7 y 28 días de madurez. Mezcla con relación agua-cemento de 0,50



RIME
SERVICIOS PROFESIONALES

Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2 Res. San Ángel IV
Teléfonos: (502) 5913 2067 / 5550 2568
e-mail: rimesp@gmail.com

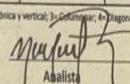
Fecha De Impresión : 2021.01.15
Pagina: 1 de 1
Usuario MAURICIO
FECHA: 2021.01.15

Cliente: Hanz Pérez	Proyecto. Estudio Tesis Permeabilidad
Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2	Dirección: Concreto Hanz
Contacto: Rolando Rios	Muestra: Cilindros
Teléfono: 59132067	Analista : Mauricio

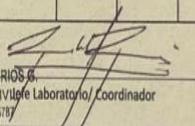
INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO – NORMA NTG 41017 h1

No	Id Cliente	ESPECIMEN	FUNDICIÓN	ROTURA	Edad	Masa (Kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (N/mm ²)	Resistencia (PSI)	T Falla
1	M1	01	22-11-20	29-11-20	7	3.91	8012	210.0	26.2	3800	2
2	M1	02	22-11-20	29-11-20	7	3.91	8012	229.8	28.7	4160	2
3	M1	03	22-11-20	19-12-20	28	3.95	8012	307.6	38.4	5570	3
4	M1	04	22-11-20	19-12-20	28	3.93	8012	287.0	35.8	5200	5

T. Falla: 1-Cónica; 2- Cónica y vertical; 3- Columnar; 4- Diagonal; 5- Fractura en los extremos; 6- Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo



Analista



EDGAR ROLANDO RIOS S.
INGENIERO CIVIL de Laboratorio / Coordinador
COLEGIADO No. 6187

Fuente: Servicios Profesionales RIME. Informe de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Anexo 2. **Informe de ensayo de resistencia a la compresión de concreto; a los 7 y 28 días de madurez. Mezcla con relación agua-cemento de 0,65**



RIME
SERVICIOS PROFESIONALES

Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2 Res. San Ángel IV
Teléfonos: (502) 5913 2067 / 5550 2568
e-mail: rimesp@gmail.com

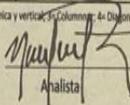
Fecha De Impresión : 2021.01.15
Pagina: 1 de 1
Usuario MAURICIO
FECHA: 2021.01.15

Cliente: Hanz Pérez	Proyecto. Estudio Tesis Permeabilidad
Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2	Dirección: Concreto Hanz
Contacto: Rolando Ríos	Muestra: Cilindros
Teléfono: 59132067	Analista : Mauricio

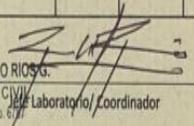
INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO – NORMA NTG 41017 h1

No	Id Cliente	ESPECIMEN	FUNDICIÓN	ROTURA	Edad	Masa (Kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (N/mm ²)	Resistencia (PSI)	T Falla
1	M2	01	22-11-20	29-11-20	7	3.81	8012	108.0	13,5	1960	2
2	M2	02	22-11-20	29-11-20	7	3.90	8012	113.2	14,1	2050	2
3	M2	03	22-11-20	19-12-20	28	3.95	8020	191.7	23,9	3470	2
4	M2	04	22-11-20	19-12-20	28	3.92	8012	188.4	23,5	3410	2

T. Falla: 1=Cónica; 2= Cónica y vertical; 3= Columna; 4= Diagonal; 5= Fractura en los extremos; 6= Similar tipo 5 pero extremo puntiguado



Analista



EDGAR ROLANDO RÍOS S.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 6777
Laboratorio/Coordinador

Fuente: Servicios Profesionales RIME. *Informe de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*

Anexo 3. **Informe de ensayo de resistencia a la compresión de concreto; a los 7 y 28 días de madurez. Mezcla con relación agua-cemento de 0,80**



RIME
SERVICIOS PROFESIONALES

Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2 Res. San Ángel IV
Teléfonos: (502) 5913 2067 / 5550 2588
e-mail: rimesp@gmail.com

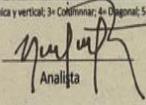
Fecha De Impresión : 2021.01.15
Pagina: 1 de 1
Usuario MAURICIO
FECHA: 2021.01.15

Cliente: Hanz Pérez	Proyecto. Estudio Tesis Permeabilidad
Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2	Dirección: Concreto Hanz
Contacto: Rolando Rios	Muestra: Cilindros
Teléfono: 59132067	Analista : Mauricio

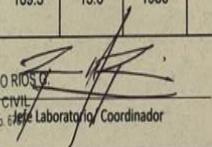
INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO – NORMA NTG 41017 h1

No	Id Cliente	ESPECIMEN	FUNDICIÓN	ROTURA	Edad	Masa (Kg)	Área (mm ²)	Carga (KN)	Resistencia (N/mm ²)	Resistencia (PSI)	T Falla
1	M3	01	22-11-20	29-11-20	7	3.88	8091	69.1	8.5	1240	2
2	M3	02	22-11-20	29-11-20	7	3.87	8091	77.7	9.6	1390	2
3	M3	03	22-11-20	19-12-20	28	3.90	8091	103.9	12.8	1860	2
4	M3	04	22-11-20	19-12-20	28	3.89	8012	109.3	13.6	1980	2

T. Falla: 1=Cónica; 2= Cónica y vertical; 3= Coliflor; 4= Diagonal; 5= Fractura en los extremos; 6= Similar tipo 5 pero extremo puntuado



Analista



EDGAR ROLANDO RIOS
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO N.º 6162
Jefe Laboratorio / Coordinador

Fuente: Servicios Profesionales RIME. *Informe de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*

Anexo 4. **Informe de ensayo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro; a los 28 días de madurez**



RIME
SERVICIOS PROFESIONALES

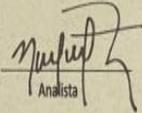
Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2 Res. San Ángel IV
Teléfonos: (502) 5913 2067 / 5550 2568
e-mail: rimesp@gmail.com

Fecha De Impresión : 2021.01.15
Pagina: 1 de 1
Usuario MAURICIO
FECHA: 2021.01.15

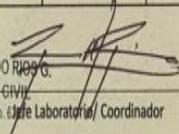
Cliente: Hanz Pérez	Proyecto: Estudio Tesis Permeabilidad
Dirección: 16 av. 43-08 Zona 2	Dirección: Concreto Hanz
Contacto: Rolando Ríos	Muestra: Cilindros
Teléfono: 59132067	Analista : Mauricio

Indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro ASTM C1202

No.	Id Cliente	ESPECIMEN	FUNDICIÓN	ROTURA	Edad	Tipo De Concreto	Ubicación Elemento	Carga Que Pasa (Coulomb)	Penetrabilidad iones de cloruro
1	M1	04	22-11-20	19-12-20	28	UGC	CILINDRO 6X12	69.1	Bajo
2	M2	04	22-11-20	19-12-20	28	UGC	CILINDRO 6X12	77.7	Moderado
3	M3	04	22-11-20	19-12-20	28	UGC	CILINDRO 6X12	103.9	Moderado



Analista



EDGAR ROLANDO RÍOS G.
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 6347 Laboratorio / Coordinador

Fuente: Servicios Profesionales RIME. *Informe de ensayo de indicación eléctrica de la capacidad del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro AST C1202.*