



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

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO
SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DÍAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO
RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA**

Douglas Adalberto Morales Bravo

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO
SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DÍAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO
RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DOUGLAS ADALBERTO MORALES BRAVO
ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DÍAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de agosto de 2017.

Douglas Adalberto Morales Bravo



Guatemala, 03 de agosto del 2018

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Ordoñez:

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación:
“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DÍAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA”, elaborado por el estudiante universitario Douglas Adalberto Morales Bravo, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considerando que dicho trabajo desarrollado por el estudiante Douglas Adalberto Morales Bravo, satisface los requisitos exigidos por el reglamento de graduación, recomiendo su aprobación.

Atentamente,



Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089

Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ingeniero Civil
Colegiado 2089



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 03 de septiembre de 2018

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

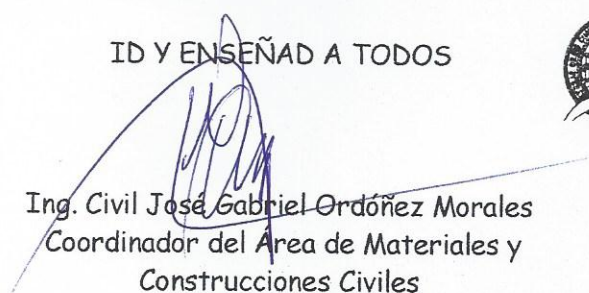
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DIAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Douglas Adalberto Morales Bravo quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
 Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Douglas Adalberto Morales Bravo **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DÍAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, octubre 2018

/mmm.



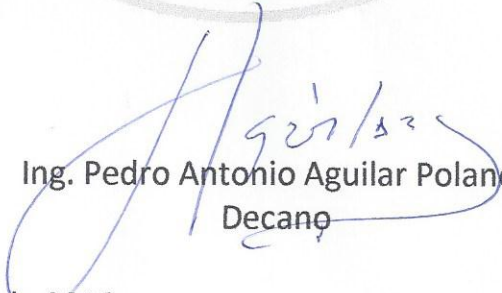
Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



DTG. 418.2018

El Decano 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: **“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO SIMPLE, ENSAYADOS A 28 DÍAS, VARIANDO LA CANTIDAD DE CLORO RESIDUAL CONTENIDO EN EL AGUA PARA LA MEZCLA”**, presentado por el estudiante universitario: **Douglas Adalberto Morales Bravo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala octubre de 2018.

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Porque has estado a mi lado en todo el camino, renovando mis fuerzas, cuidando mi salida y mi entrada, teniendo misericordia y bendiciendo mi vida con lo necesario. Te dedico este logro Dios, porque tú me diste la inteligencia y sabiduría para alcanzar este triunfo.

Mis padres

Vilma de Morales y Ricardo Morales, por darme su apoyo, aunque implicara un esfuerzo extra, haciendo mucho más de lo que dicta el deber; amándome, apoyándome y cimentando las bases de mi moral para ser una persona de bien.

Mis hermanos

Frilli y María Belén Morales, por brindarme su apoyo cuando fue necesario.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios y darme la oportunidad de titularme como profesional.

Facultad de Ingeniería

Por haberme brindado los conocimientos necesarios para formarme como profesional.

Ing. Mario Corzo

Le agradezco por su dedicación a la enseñanza, no solo académica, sino también moral y espiritual.

**S.R. del Área de
Prefabricados**

Por su amistad y el apoyo brindado para este trabajo de graduación.

**Centro de
Investigaciones
de Ingeniería**

Por haberme permitido realizar los ensayos necesarios para este trabajo de graduación.

**Mis amigos de la
Facultad de Ingeniería**

Ustedes que estuvieron desde el principio y a los que conocí durante el trayecto de esta carrera, por su amistad, camaradería y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Estudios realizados relacionados al tema.....	3
1.2. Definiciones	3
1.2.1. Cloro residual.....	4
1.2.2. Límite máximo aceptable	4
1.2.3. Límite máximo permisible	4
1.2.4. pH.....	4
1.3. Tipos de fuentes de abastecimiento de agua de EMPAGUA en la ciudad de Guatemala.....	5
1.4. Sistemas de abastecimiento del agua potable de EMAGUA	6
1.4.1. Equipo actual de cloración para pozos mecánicos.....	6
1.4.2. Bomba dosificadora de diafragma	6
1.4.3. Sistema de cloración en pozos	7
1.4.4. Planta de tratamiento de agua, Santa Luisa	8

1.5.	Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el agua potable	9
1.5.1.	Características físicas	9
1.5.1.1.	Color.....	10
1.5.1.2.	Olor	10
1.5.1.3.	Turbidez	10
1.5.1.4.	pH.....	11
1.5.2.	Características químicas del agua	11
1.5.2.1.	Dureza del agua.....	12
1.5.2.2.	Cloruro.....	12
1.5.2.3.	Cloro residual	12
	1.5.2.3.1. Cloro residual libre disponible	13
	1.5.2.3.2. Cloro residual combinado disponible ...	13
1.6.	Niveles de pH para los procesos de cloración en el agua potable	13
1.7.	Desgaste del concreto por acción química.....	16
1.7.1.	Ataque al concreto por sulfatos	17
1.7.2.	Ataque del agua de mar al concreto.....	18
1.7.3.	Ataque de los ácidos	18
1.8.	Métodos de análisis del contenido de cloro residual en el agua potable	19
1.9.	Determinación de cloro residual en campo con DPD	20
1.9.1.	Principio.....	20
1.9.2.	Aparatos	21
1.9.3.	Reactivos.....	22
1.10.	Reglamento para la calidad del agua potable	22
1.10.1.	Norma COGUANOR NGO 29 001:99	23

1.11.	Reglamento para la calidad del agua de mezcla para uso de producción de cemento hidráulico	23
1.11.1.	Norma COGUANOR NTG 41073	24
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	25
2.1.	Ensayo de análisis completo para agregados (fino y grueso), según normas ASTM.....	25
2.1.1.	Granulometría para agregado fino y grueso, según norma ASTM C 136	26
2.1.1.1.	Maquinaria y equipo	26
2.1.1.2.	Procedimiento.....	27
2.1.1.3.	Agregado fino	27
2.1.1.4.	Agregado grueso	27
2.1.1.5.	Cálculos.....	29
2.1.2.	Masa unitaria en agregados finos y gruesos, según norma ASTM C29	30
2.1.2.1.	Maquinaria y equipo	30
2.1.2.2.	Procedimiento.....	31
2.1.2.3.	Cálculos.....	32
2.1.3.	Gravedad específica y absorción del agregado grueso, según norma ASTM C127	33
2.1.3.1.	Maquinaria y equipo	34
2.1.3.2.	Procedimiento.....	34
2.1.3.3.	Cálculos.....	36
2.1.4.	Gravedad específica y absorción del agregado fino, según norma ASTM C 128.....	37
2.1.4.1.	Maquinaria y equipo	38
2.1.4.2.	Procedimiento.....	38
2.1.4.3.	Cálculos.....	40

2.1.5.	Impurezas orgánicas en agregado fino para concreto, según norma ASTM C-40	41
2.1.5.1.	Maquinaria y equipo	42
2.1.5.2.	Procedimiento	42
2.1.5.3.	Reportar	43
2.2.	Ensayo experimental de desgaste en el agregado grueso por exposición al hipoclorito de sodio.....	44
2.2.1.	Maquinaria y equipo	44
2.2.2.	Procedimiento	45
2.2.3.	Resultados	46
2.3.	Medición de los niveles del cloro residual contenido en el agua para la mezcla de elaboración de cilindros	46
2.3.1.	Maquinaria y equipo	46
2.3.2.	Procedimiento	47
2.3.2.1.	Procedimiento para determinar cloro residual total.....	47
2.3.2.2.	Procedimiento para determinar cloro residual libre.....	47
2.3.3.	Resultados	48
2.4.	Medición de pH en el agua para la elaboración de cilindros de concreto	48
2.4.1.	Maquinaria y equipo	48
2.4.2.	Procedimiento	49
2.4.3.	Resultados	49
2.5.	Ensayo de carbonatación del concreto	49
2.6.	Diseño teórico de mezclas de concreto, según el Código ACI 211.1	50
2.6.1.1.	Cálculo de volumen de cloro para desinfección del agua para la mezcla ..	56

2.6.1.2.	Resumen de los materiales a utilizar para la elaboración de los cilindros de concreto.....	58
2.6.2.	Preparación y ensayos de cilindros de concreto.....	59
2.6.2.1.	Ensayo de determinación de la resistencia a compresión en cilindros de concreto según Norma ASTM C39/C39	60
2.6.3.	Maquinaria y equipo	60
	2.6.3.1.1. Procedimiento.....	60
	2.6.3.1.2. Resultados.....	61
2.7.	Características de las muestras de ensayo	61
2.7.1.	Descripción de los materiales	62
2.7.2.	Descripción de los cilindros	62
3.	MUESTRA DE RESULTADOS.....	63
3.1.	Resultados del análisis de los agregados (fino y grueso).....	63
3.1.1.	Agregado grueso	63
3.1.2.	Agregado fino	68
3.2.	Resultados de las mediciones de cloro residual y pH en el agua usada para los cilindros	72
3.3.	Resultados de la apariencia física de los cilindros de concreto.....	74
3.3.1.	Cilindros de concreto elaborados con 0,5 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla.....	74
3.3.2.	Cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla.....	75
3.3.3.	Cilindros de concreto elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual libre en su agua para la mezcla...	79

3.4.	Resultados de ensayo de carbonatación del concreto	84
3.5.	Resultados de los ensayos a compresión de los cilindros de concreto a los 28 días	85
3.6.	Comportamiento físico del agregado grueso ante la presencia de cloro	88
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	91
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema usual de cloración en pozos	8
2.	Disociación del cloruro en función del pH	14
3.	Disociación del cloro en función del pH.....	15
4.	Especiación del cloro en función del pH.....	16
5.	Comparador de cloro con goteros de reactivos.....	22
6.	Gráfica granulométrica del agregado grueso	66
7.	Agregado grueso analizado	67
8.	Gráfica granulométrica del agregado fino	70
9.	Agregado fino utilizado.....	71
10.	Resultados de mediciones de cloro residual y pH en el agua para la mezcla de concreto mediante DPD.....	73
11.	Cilindro de concreto a los 28 días, elaborado con 0,5 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla.....	75
12.	Presencia de eflorescencia en la superficie de los cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual a los 7 días.....	76
13.	Anomalías superficiales en cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual a los 14 días.....	77
14.	Ensayo a compresión de cilindro de concreto a los 14 días elaborado con 1,0 mg/L de cloro residual	78
15.	Presencia de eflorescencia en la superficie de los cilindros de concreto elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual.....	79
16.	Presencia de cementante en polvo dentro del cilindro de concreto elaborado con 2,0 mg/L de cloro residual en el agua para la mezcla ..	80

17.	Cambio de coloración en cilindros elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla.....	81
18.	Gráfica comparativa de peso y resistencia a los 7 días	83
19.	Gráfica comparativa de peso y resistencia a los 14 días	83
20.	Gráfica comparativa de peso y resistencia a los 14 días	84
21.	Ensayo de carbonatación en concreto.....	85
22.	Gráfica comparativa de resistencias de las mezclas evaluadas	87
23.	Muestra de agregado grueso para ensayo de desgaste químico	88
24.	Detalle de los granos expuestos a cloro	89

TABLAS

I.	Tamaños de tamices y masa mínimas de ensayo	27
II.	Clasificación de la arena por su módulo de finura	29
III.	Capacidad del medidor, según tamaño de agregado	31
IV.	Cantidad de masa natural.....	35
V.	Grado orgánico en base a colorímetro.....	43
VI.	Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción	51
VII.	Requisitos aproximados del contenido de agua para diferentes tipos de concreto.....	52
VIII.	Relación agua/cemento para diferentes tamaños de agregado grueso.....	53
IX.	Relaciones agua/cemento para concreto expuesto a diferentes ataques	53
X.	Volumen de agregado grueso por volmen unitario de concreto.....	54
XI.	Resumen de cantidades de materiales para la elaboración del concreto para los cilindros de ensayo.....	56
XII.	% a mg/L.....	57
XIII.	Para la elaboración de 6 cilindros con cloro residual 0,5 mg/L	58

XIV.	Para la elaboración de 9 cilindros con cloro residual 1 mg/L	58
XV.	Para la elaboración de 9 cilindros con cloro residual 2 mg/L	59
XVI.	Características físicas del agregado grueso	63
XVII.	Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado grueso.....	67
XVIII.	Características físicas del agregado fino.....	68
XIX.	Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado fino.....	71
XX.	Comparativa de peso y resistencia	82
XXI.	Comparativa de resistencia a compresión de los cilindros de concreto	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ClOH	Ácido hipocloroso
H₂O	Agua
Ca	Calcio
Cl₂	Dicloro
CO₂	Dióxido de carbono
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramo
H	Hidrógeno
kg	Kilogramo
lb	Libra
psi	Libra por pulgada cuadrada
L	Litro
Mg	Magnesio
MPa	Mega pascal
pH	Medida de acidez o alcalinidad de una solución
m³	Metro cúbico
mg	Miligramo
mm	Milímetro
oz	Onza
ppm	Partes por millón
K	Potasio
in	Pulgada

f_c

Resistencia nominal a compresión del concreto

Na

Sodio

GLOSARIO

Caracterización	Acción que sirve para resaltar los detalles y características de un elemento.
Carbonatación	Reacción química producida por el dióxido de carbono en contacto con un óxido o hidróxido, el cual forma carbonato.
Cenagoso	Que está cubierto de lodo.
Constituyente	Que forma parte de algo, establece u ordena.
Curado	Proceso por el cual es sometido el concreto durante su tiempo de endurecimiento con el fin de evitar una deshidratación abrupta del mismo.
Degradación	Término empleado para indicar la pérdida o desprendimiento de una parte de un elemento; dicho desprendimiento puede ser debido a factores químicos, físicos o mecánicos.
Disociación	Es lo opuesto a la asociación. Consiste en la separación de moléculas y sales, en moléculas más pequeñas.

Dosificación

Medición del volumen o peso de uno o varios elementos que se agregan a una solución para que contenga cierta medida deseada del elemento dosificado.

Especiación

Surgimiento de diferencias entre dos compuestos próximos, lo cual conlleva a una separación definitiva.

Lixiviación

Sustracción de un material soluble en una mezcla, usando un disolvente líquido.

RESUMEN

Este trabajo de graduación se centra en analizar la sensibilidad que tiene el concreto ante la presencia del cloro residual, al estar expuesto a las dosis permisibles de cloro residual que puede contener el agua potable, que es provista por la red de distribución y la cual es utilizada para la elaboración de concreto.

Las dosificaciones que se aplicaron al agua para la elaboración de las mezclas de concreto fueron de 0,5 mg/L, 1,0 mg/L y 2,0 mg/L, siendo estos los valores permisibles por la norma COGUANOR NGO 29 000 1:99. La desinfección del agua usada para las mezclas de concreto se realizó con hipoclorito de sodio al 3,862 % y para realizar las mediciones de cloro residual se empleó el método DPD.

Se elaboraron cilindros de concreto de cada una de las mezclas realizadas y se ensayaron a compresión de acuerdo a las normas ASTM. También se analizaron los agregados para determinar sus características y así descartar cualquier influencia, además de cloro residual en el agua contenida en los cilindros. Además, se realizó una prueba de degradación química al agregado grueso, utilizando una solución con hipoclorito de sodio, pero no hubo ningún resultado significativo que implicara que el agua clorada provocara una reducción en la resistencia del agregado grueso.

Los resultados obtenidos muestran que una dosificación de 2,0 mg/L produce un descenso en la resistencia a compresión del concreto y la

dosificación de 1,0 mg/L de cloro residual trabaja como acelerante en el proceso de endurecimiento del concreto.

OBJETIVOS

General

Determinar si existe alguna variación en las características físicas y propiedades mecánicas del concreto simple a los 28 días, al ser influenciado por la cantidad de cloro residual que contenga el agua para la mezcla.

Específicos

1. Se realizará a una caracterización de los agregados finos y gruesos que se usarán para la elaboración del concreto de cada uno de los testigos, con el fin de conocer a detalle las características físicas de cada uno de estos.
2. Con base en las observaciones, de haber alguna variación en la apariencia de los cilindros de concreto a los 28 días, se determinará como este cambio puede estar ligado al contenido del cloro residual en el agua utilizada para la realización de la mezcla de concreto.
3. Se evaluará si los límites de cloro residual para el agua potable establecidos en la norma COGUANOR 29001, en sus casos de contenido mínimo y máximo, pueden causar alguna alteración en el desempeño a compresión del concreto simple.
4. Dependiendo de los resultados obtenidos, se determinará si existe algún porcentaje de variación en la resistencia a compresión del concreto a los

28 días, en función del contenido de cloro residual en el agua para su fabricación.

5. Como parte investigativa, se analizará la degradación del agregado grueso provocada por altos contenidos de cloro.

INTRODUCCIÓN

El concreto es un elemento esencial en la construcción, por lo que se requiere controlar su fabricación, tanto en planta como en la obra. Es sabido que la calidad de los agregados, así como la calidad del agua, puede afectar las características físicas y propiedades mecánicas del concreto, provocando anomalías en el desempeño del mismo.

Las mezclas de concreto para construcciones que se realizan en comunidades en donde el área de cobertura de la red de distribución de agua potable está disponible, utilizan agua que es proveniente de plantas de tratamiento. Dichas plantas de tratamiento, emplean el método de cloración para la desinfección del agua. Basados en normas, existen diferentes niveles de cloro residual que puede contener el agua potable; estos niveles no son nocivos para la salud de las personas, pero por la naturaleza del concreto, es necesario analizar cómo los diferentes niveles de cloro residual pueden afectar estructuralmente a la mezcla de cementante y agregados.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Antecedentes

La cloración del agua para el consumo humano, es un método que se emplea de forma doméstica y en plantas de tratamiento de agua potable, debido a su amplia disponibilidad y a su efectividad para la eliminación de organismos causantes de enfermedades sin poner en peligro la salud de las personas. Si se añade suficiente cloro, luego de eliminar todos los organismos, quedará una cantidad de cloro remanente en el agua; a esto se le llama *cloro residual*.

Al consultar la bibliografía relacionada al tema de la calidad del agua y sus parámetros físicos y químicos, se encuentran varios trabajos de graduación y diferentes estudios realizados en varios sectores de la Ciudad Capital y algunos en el interior del país, en los cuales se determina la calidad del agua que distribuye la Municipalidad de Guatemala a través de EMPAGUA.

Es sabido que ciertos aditivos para el concreto cuentan con Cloruro de Calcio para acelerar el proceso de fraguado, pero tiende a promover la corrosión del acero de refuerzo debido a su capacidad de oxidación, incrementa la contracción de secado, el agrietamiento y la fluencia, alterando las características físicas y propiedades mecánicas del concreto.

La norma guatemalteca COGUANOR NGO 290001, el código ACI 318-14 y la norma ASTM C494, establecen parámetros de la cantidad cloro residual aceptable y permisible en el agua potable, haciendo énfasis en los riesgos que

implica el exceso de cloro residual en el agua potable, para la mezcla de concreto.

La norma guatemalteca para el agua potable, COGUANOR NGO 29 001:99, determina las especificaciones que debe contener el agua para su distribución. En ella se establece que la cantidad máxima de cloro residual libre aceptable es de 0,5 mg/L y la cantidad máxima de cloro residual permisible es de 1,0 mg/L. En los casos 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.

La norma técnica guatemalteca, COGUANOR NTG 41073, especifica las características del agua de mezcla para uso en la producción de cemento hidráulico; en ella se establece que la máxima concentración de cloruro en el agua de mezcla combinada, en el caso del concreto presforzado, tableros de partes u otros designados, debe ser de 500 ppm, y en concreto reforzado en ambientes húmedos o conteniendo inserciones de aluminio o de metales similares o con formaletas de metal galvanizado que permanecen en el lugar, la cantidad de cloruro deberá ser 1 000 ppm.

El código ACI 318-14 SUS, hace mención de los efectos adversos que puede generar una excesiva cantidad del ion cloro en el agua para la mezcla de concreto, remitiendo a los parámetros de normas internacionales, como la ASTM C494.

1.1.1. Estudios realizados relacionados al tema

Un estudio realizado por investigadores de la UAM Azcapotzalco, el cual presenta información comparativa entre concretos elaborados con agua potable y concretos fabricados con agua residual tratada, evalúa cómo esta afecta el desempeño mecánico a compresión simple. Además, se determinó sus propiedades físicas en estado fresco y endurecido; para ello se elaboraron más de 700 muestras, entre ellas, cilindros de concreto y cubos de mortero, de acuerdo a los parámetros establecidos en las normas existentes. En este estudio, se determinó que concentraciones de 20 000 ppm de cloruro de sodio, son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas durante su vida útil y que, por el contrario, en el agua usada para elaborar concretos presforzados, no se deben presentar concentraciones de ion cloro superior a 500 ppm. En el caso de concretos de aluminio embebido o galvanizado, u otros concretos expuestos a humedad ambiente, el agua no debe presentar concentraciones superiores a 1 000 ppm del ion cloro. Para el caso del agua para la mezcla, se recomienda supervisar los contenidos de sulfatos, cloruros y álcalis, ya que en concentraciones superiores a las establecidas, su reacción con los componentes del cemento y los agregados, puede ser muy agresiva.

1.2. Definiciones

Es necesario el conocimiento de algunos conceptos y definiciones de términos relacionados con el tema para comprender de mejor manera este trabajo de graduación, por lo cual, a continuación se describen algunos de estos.

1.2.1. Cloro residual

El cloro residual, es la cantidad de cloro que queda en el agua, luego de haber eliminado todos los organismos peligrosos en ella. El cloro residual permanece en el agua hasta perderse en el ambiente o hasta que sea necesario contrarrestar una nueva contaminación. El cloro residual libre en el agua para consumo humano, se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH.

1.2.2. Límite máximo aceptable

Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

1.2.3. Límite máximo permisible

Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

1.2.4. pH

El pH es un indicador del potencial de hidrógenos. Es una unidad de medida que establece el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia.

La escala de pH es una escala logarítmica, lo que significa que la diferencia entre un solo íntegro representa una diferencia enorme en acidez o alcalinidad. Por ejemplo, una sustancia que tiene un pH de 2 en realidad es 10

veces más ácida que una con un pH de 3 y 100 veces más ácida que una sustancia con un pH de 4. La escala funciona de igual manera para las sustancias alcalinas, con un íntegro representando una diferencia de diez veces en alcalinidad.

1.3. Tipos de fuentes de abastecimiento de agua de EMPAGUA en la ciudad de Guatemala

Para proveer el agua potable a la Ciudad de Guatemala, la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), cuenta con varios tipos de fuentes de abastecimiento en la red de agua para su posterior tratamiento y distribución a las diferentes zonas de la Ciudad Capital y algunas áreas de Villa Nueva, Mixco, Santa Catarina Pinula y Chinautla. Según el mapa de Cobertura de Agua Potable del Departamento/Ciudad de Guatemala, la mayoría de estas fuentes son pozos, de los cuales, un porcentaje no están activos o no funcionan al 100 % de su capacidad. Estos pueden funcionar de manera alterna. La red de agua está conectada de tal forma que al bajar el volumen de producción de un pozo en temporada de estiaje o al secarse, la dotación puede ser cubierta por cualquier otro pozo de la red que esté accesible al sector. Además de las fuentes subterráneas, también existen las Plantas de Tratamiento Lo de Coy, Xayà Pixcayà, Santa Luisa, La Brigada, El Cambray, y Las Ilusiones.

El área de cobertura del sistema de agua potable de EMPAGUA en el Departamento de Guatemala y la ubicación de los pozos que utiliza para abastecer la red, se encuentran indicados en el Mapa de Cobertura de Agua Potable del Departamento de Guatemala (Ver Anexo 5 y 6).

1.4. Sistemas de abastecimiento del agua potable de EMAGUA

En general, los sistemas de abastecimiento de agua potable con los que cuenta EMAGUA están diseñados para desinfectar el agua de las fuentes que abastecen a la red, con lo cual, el equipo suele ser el mismo para todas las plantas de tratamiento.

1.4.1. Equipo actual de cloración para pozos mecánicos

Actualmente se usa hipoclorito de sodio o de calcio dosificado mediante una bomba de diafragma, los puntos de aplicación de la solución varían de un pozo a otro, y la medición de cloro libre residual no se realiza rutinariamente. Debido a que un pozo mecánico es una instalación relativamente pequeña, se justifica el uso de hipoclorito de calcio o de sodio, los cuales son más caros que el cloro gaseoso, pero son de fácil manejo. Para instalaciones grandes, puede usarse cloro gaseoso, la inversión inicial es más cara y se necesita de personal especializado y un estricto control para un buen desempeño y seguridad, con la ventaja del menor costo del cloro gaseoso en relación con los hipocloritos.

En la actualidad, se dispone de varios tipos de bombas dosificadoras de cloro en el mercado, sin embargo, la más usada y que brinda resultados satisfactorios es la bomba dosificadora de diafragma.

1.4.2. Bomba dosificadora de diafragma

Existen dos tipos de bombas de diafragma: las de control manual y las de control automático; se prefiere el uso de las automáticas pues estas responden a las variaciones en el caudal del agua que está siendo tratada, creando así una cloración regular.

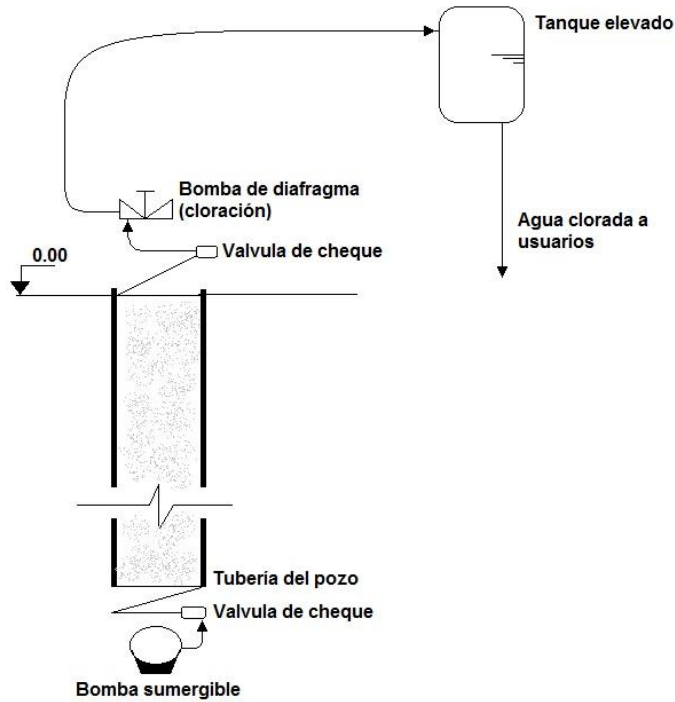
El principio de operación de una bomba de diafragma se basa en un mecanismo electromagnético (solenóide), el cual está conectado a un diafragma. Cuando el solenoide es pulsado por el circuito de control, este desplaza el diafragma, el cual, a través del uso de válvulas de cheque, mueve el fluido hacia fuera y descarga bajo presión. Cuando el solenoide se descarga, regresa el diafragma y succiona más solución y el ciclo se repite.

La velocidad de pulsación de la bomba se cambia al girar el perno de velocidad. La duración del pulso está controlada por el perno de duración de pulso. Al momento de instalar una bomba, debe ser calibrada según el requerimiento de cloro mediante las pruebas de cloro libre residual; después de esto se recomienda la medición diaria del cloro libre residual para hacer ajustes en caso necesario. El punto de inyección debe ser más alto que la superficie de la solución de cloro para evitar alimentación por gravedad. Una válvula antisifón, evitará la alimentación por gravedad.

1.4.3. Sistema de cloración en pozos

La cloración se lleva a cabo mediante la aplicación de una solución de hipoclorito de calcio, dosificada con una bomba de diafragma automática; la solución se aplica a la tubería de descarga del pozo, y luego es conducida hacia un depósito elevado donde el cloro termina de mezclarse y reaccionar con el agua; finalmente el agua clorada se distribuye a los usuarios por medio de gravedad. La figura 1 muestra el sistema de cloración sugerido.

Figura 1. **Sistema usual de cloración en pozos**



Fuente: elaboración propia.

1.4.4. **Planta de tratamiento de agua, Santa Luisa**

Construida en 1938, la planta de tratamiento de agua, Santa Luisa, está ubicada en la zona 16 del departamento de Guatemala. En principio fue diseñada para tratar 18 000 m³/día, pero debido al aumento en la demanda de consumo, en 1958 fue ampliada para producir 45 000 m³/día, añadiendo nuevo canal de mezcla, dos sedimentadores en paralelo que representan un volumen total de 14 175 metros cúbicos; así mismo, se incluyen 10 divisores de filtros a presión y el tanque de distribución de Acatán.

1.5. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el agua potable

Los análisis físicos y químicos determinan si el agua está contaminada y proporcionan también otros datos útiles para estudios más específicos; sin embargo, esta información no es suficiente para detectar pequeños grados de contaminación con aguas residuales o aguas negras. De tal manera que las pruebas bacteriológicas se han diseñado para que sean muy sensibles y específicas para revelar cualquier contaminación.

1.5.1. Características físicas

Son las características que pueden ser detectadas por los sentidos y que influyen en el rechazo o la aceptación del agua por el consumidor. En la norma COGUANOR NGO 29001, se definen las siglas LMA (Límite Máximo Aceptable) las cuales son valores que el consumidor no detectará, o si las detecta, no serán de importancia para influir en el rechazo del agua; también están definidas las siglas LMP (Límite Máximo Permisible) las cuales se refieren a niveles máximos de las características físicas, que determinarán si el agua es potable o no.

Al ser parámetros medidos de forma sensorial por el consumidor, son las que más pueden causar impresión en él; sin embargo, tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario; el cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma, nos garantizará que el agua es apta para el consumo humano.

1.5.1.1. Color

El agua en su estado purificado, se espera que sea incolora, pero debido a la presencia de materiales que pueden estar en suspensión, esta puede llegar a tornarse en alguna tonalidad diferente.

La coloración del agua en diferentes fuentes de captación puede ser generado por colorantes derivados de hojas, semillas, material vegetal en general y, en muchas ocasiones, las descargas de desechos industriales; estas últimas pueden contener hierro o magnesio, dichos elementos al combinarse con materia orgánica, pueden generar coloración en el agua. El agua, al ser contaminada con desechos industriales, se vuelve no apta para el consumo humano.

1.5.1.2. Olor

Se espera que el agua potable no posea ningún olor, excepto un leve aroma de cloro. La presencia de mal olor en el agua, generalmente se debe a la descomposición de materia orgánica en la solución, compuestos químicos volátiles o diferentes tipos de microorganismos. Los tipos de olores que se pueden presentar en el agua varían desde olores putrefactos, hasta olores a tierra y moho. Estos olores afectan directamente en la deseabilidad para el consumo, y dependiendo de su uso, puede afectar en el proceso de manufactura para la elaboración de un producto a nivel industrial.

1.5.1.3. Turbidez

La turbidez en el agua, permite evaluar la eficiencia en el proceso de coagulación y filtración que se realizan en las plantas de tratamiento. La

presencia de materia orgánica e inorgánica finamente dividida, causa opacidad, la cual provoca dispersión de inferencias de los rayos luminosos que pasan a través de la misma.

1.5.1.4. pH

Este indica el potencial de hidrógeno y se define arbitrariamente y por comodidad, como el logaritmo de base diez del inverso de la concentración del ion hidrógeno (H^+) y se emplea para expresar el comportamiento del ion hidrógeno.

Cuando se obtiene mediante una medida de pH que un producto, sustancia o elemento es ácido, quiere decir que dicho elemento posee una alta o baja cantidad de iones de hidrógeno. Por su parte, si la medición arroja que una sustancia es alcalina, significa que no cuenta con estas concentraciones de hidrógeno.

El pH cuenta con su propia escala de medida, la cual varía desde 0 a 14, donde 0 indica la máxima acidez, y por su parte, 14 es el opuesto. El valor intermedio es 7, el cual indica un valor neutral.

1.5.2. Características químicas del agua

Las características químicas del agua, determinan las cantidades de materia orgánica y minerales que deben estar presentes en el agua y que pueden afectar su calidad. Un análisis químico en el agua se suele realizar para determinar la concentración de los constituyentes químicos y si estos están dentro de los parámetros establecidos en las normas, también para determinar la presencia de productos del nitrógeno reaccionando con la contaminación de

materia orgánica, nitritos y amoníaco, los cuales indicarían una oxidación bacteriana de la materia orgánica o una mineralización de la misma.

1.5.2.1. Dureza del agua

El agua que contiene una concentración relativamente alta de Ca^{++} , Mg^{++} y otros cationes divalentes, se conoce como agua dura. La sola presencia de dichos iones no representa una amenaza para la salud, pero debido a que estos iones pueden reaccionar con jabones formando una nata de jabón insoluble, esta agua puede no ser provechosa para usos industriales o domésticos. Esta nata se presenta en forma de anillos en las tinas de baño o juntas de drenaje.

1.5.2.2. Cloruro

El cloro se utiliza frecuentemente como oxidante y desinfectante en aguas y drenajes. Como agente oxidante, se le emplea para el control de sabor, olor, para eliminar organismos dañinos para la salud y regulación del color en el tratamiento de aguas municipales; en el tratamiento de aguas industriales, se emplea para la oxidación de cianuros en drenajes domésticos. El cloro también es empleado para desinfectar piscinas.

1.5.2.3. Cloro residual

Es la cantidad de cloro remanente que se encuentra en el agua después de pasado cierto intervalo de tiempo de contacto; esta cantidad de cloro que queda activo en el agua sirve para eliminar microorganismos que contaminan el agua, después de su tratamiento.

El cloro residual puede manifestarse de dos maneras luego de realizar el proceso de desinfección del agua, la suma de estas dos, constituye el cloro residual total. Estas formas son:

1.5.2.3.1. Cloro residual libre disponible

El cloro residual libre en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH.

1.5.2.3.2. Cloro residual combinado disponible

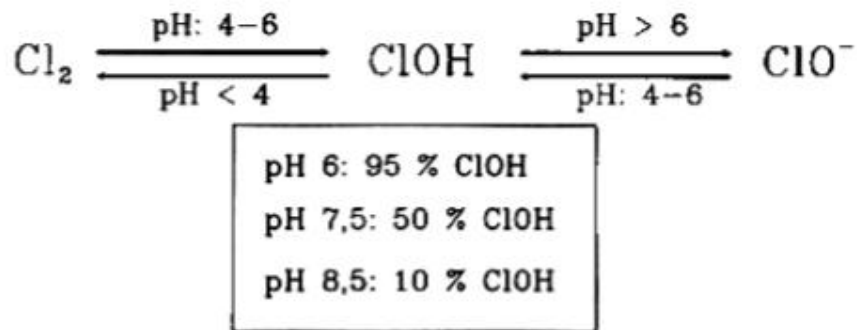
El cloro residual combinado disponible, es el resultado de la combinación del cloro con las cloraminas (amonio), y su capacidad desinfectante es menor que el cloro residual libre.

1.6. Niveles de pH para los procesos de cloración en el agua potable

En relación de formación del ácido hipocloroso a partir del cloro molecular, el equilibrio se desplaza hacia la formación de ácido hipocloroso cuando el pH del agua es superior a 4. Sin embargo, cuanto mayor es el pH del agua, el ácido hipocloroso (ácido débil) tiende a ionizarse y el equilibrio de la reacción se desplaza hacia la formación de ion hipoclorito, cuyo potencial redox es menor y la acción germicida mucho más lenta que la del ácido hipocloroso, aunque en determinadas circunstancias, como a pH9 y en presencia de Cl₂ a concentraciones de 0,05 a 1,0 M, se acelera la tasa de destrucción de algunos

tipos de virus, como los poliovirus, llegando a ser de 10 a 20 veces más eficaz que el ácido hipocloroso. (Pérez, Espigares, 1995)

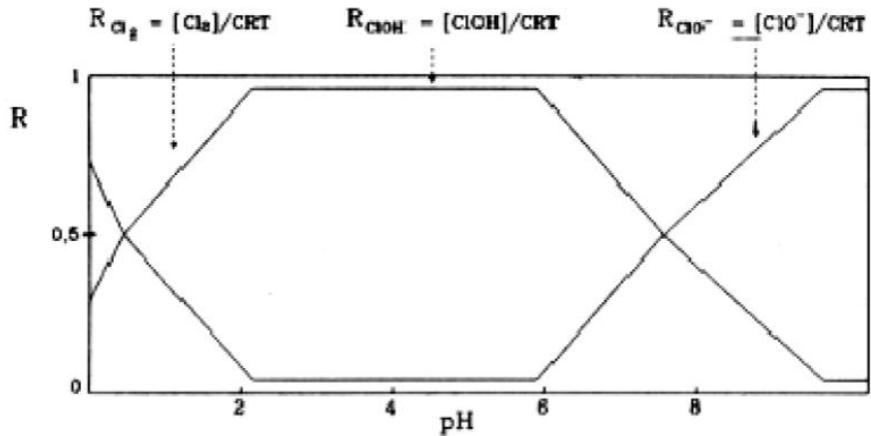
Figura 2. **Disociación del cloruro en función del pH**



Fuente: PÉREZ, J.A. & ESPIGARES, M., 1995, *Estudio sanitario del agua. Desinfección el agua*. p. 2.

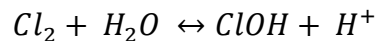
Cuando el valor del pH es de 8,5, el 90 % del cloro se encuentra en la forma de ion hipoclorito, por lo que, cuando las aguas son ligeramente alcalinas para conseguir el efecto bactericida en el mismo periodo de tiempo, es necesario aumentar drásticamente las cantidades de cloro añadidas al agua. (Pérez, Espigares, 1995)

Figura 3. **Disociación del cloro en función del pH**

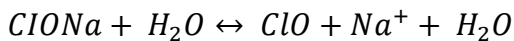
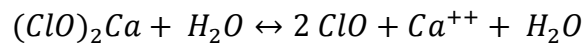


Fuente: PÉREZ, J.A. & ESPIGARES, M. *Estudio sanitario del agua. Desinfección el agua*. p. 3.

Quando se adiciona al agua, cloro en forma de gas, el valor inicial de pH del agua tiende a disminuir, a la vez que se reduce la alcalinidad por neutralización:

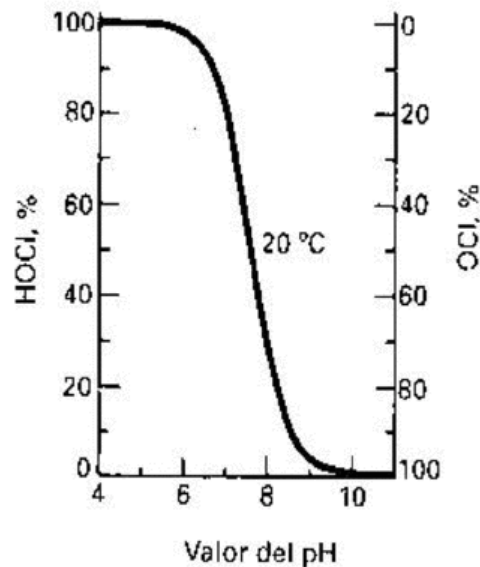


Por el contrario, cuando se adiciona cloro en forma de hipoclorito sódico o cálcico, el pH inicial del agua tiende a aumentar:



No obstante, las fluctuaciones del pH normalmente quedan amortiguadas por las sales contenidas en el agua, responsables de su dureza (carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio), por lo que las variaciones suelen ser mínimas, y por lo tanto, despreciables en la práctica. (Pérez, Espigares, 1995)

Figura 4. **Especiación del cloro en función del pH**



Fuente: PÉREZ, J.A. & ESPIGARES, M. *Estudio sanitario del agua. Desinfección el agua*. p. 4.

1.7. **Desgaste del concreto por acción química**

El daño del concreto puede ser debido a reacciones químicas expansivas entre los álcalis del cemento y ciertos agregados que contienen sílice (ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita) y ciertas rocas volcánicas (riolita, andesita, dacita). Un agregado que contenga estos materiales en cantidades tan pequeñas como 1 %, puede ser perjudicial para el concreto. La ASTM C-150 recomienda que el contenido de $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$ del cemento no debe ser mayor de 0,6 % cuando se utilicen agregados que puedan reaccionar con los álcalis.

Las formas más comunes de la agresión química son: la lixiviación del cemento, la acción del agua de mar, la acción de los sulfatos y la de aguas naturales generalmente ácidas.

1.7.1. Ataque al concreto por sulfatos

Las sales en estado sólido no atacan al concreto, pero cuando se encuentra en solución pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecido. Algunas arcillas contienen, por ejemplo, álcalis sulfatos de calcio y de magnesio, y las aguas freáticas con este tipo de arcilla son una solución de sulfatos. Por lo tanto, puede haber un ataque al cemento, al reaccionar el sulfato con la Ca(OH)_2 y con el C_3A .

El concreto atacado por sulfatos tiene un aspecto blanquecino y característico. El daño suele iniciarse en los bordes y los ángulos, va seguido por agrietamientos y descascaramientos progresivos que reducen el concreto a un estado frágil, o incluso, blando.

La resistencia del concreto al ataque de sulfatos puede determinarse en el laboratorio, mediante la inmersión de muestras en una solución de sulfato de sodio o de magnesio o bien una mezcla de los dos. Al humedecer y secar sucesivamente se acelera el daño, debido a la cristalización de las sales en los poros del concreto. Los efectos de exposición pueden estimarse por la pérdida de resistencia de la muestra, por los cambios en su módulo de elasticidad, su expansión, su pérdida de masa o incluso con una inspección visual.

1.7.2. Ataque del agua de mar al concreto

El agua de mar contiene sulfatos y ataca al concreto en forma semejante a la antes descrita (tema anterior). Además de la acción química, la cristalización de las sales en los poros de concreto puede destruirlo, debido a la presión ejercida por los cristales de las sales.

En vista de que la cristalización tiene lugar en el momento de la evaporación del agua, esta forma de ataque se produce en concretos sobre el nivel del agua; sin embargo, la solución salina asciende en el concreto por acción capilar, por lo que la permeabilidad es una vez más una característica muy importante.

En algunos casos, la acción del agua de mar sobre el concreto va acompañada por la acción destructiva de las variaciones de temperatura cíclicas, el impacto de las olas y la abrasión; todo esto tiende a agravar el deterioro del concreto.

1.7.3. Ataque de los ácidos

En condiciones húmedas, el SO_2 , el CO_2 y algunos otros gases ácidos presentes en la atmósfera atacan al concreto disolviéndose y removiendo una parte del cemento fraguado, después de lo cual queda una masa suave y semisólida. Esta forma de ataque ocurre comúnmente en las chimeneas y en los túneles por donde pasan locomotoras de vapor. El ataque de ácidos se encuentra también en áreas de uso industrial; ningún cemento Portland resiste los ácidos.

El concreto sufre también ataques por agua con CO_2 disuelto, como el agua cenagosa. Las corrientes de agua pura, procedentes de la fusión de las nieves o la condensación y con poco CO_2 también disuelven el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y causan erosión superficial.

Otra forma de ataque químico que se puede presentar en el concreto, es cuando los compuestos de azufre se reducen a H_2S por la acción de bacterias aerobias; este no es un agente destructivo por sí mismo, pero se disuelve en una película de humedad sobre la superficie expuesta del concreto y experimenta posteriormente oxidación por la acción de bacterias aerobias, para producir finalmente ácido sulfúrico. El cemento se disuelve gradualmente y el concreto se deteriora progresivamente.

1.8. Métodos de análisis del contenido de cloro residual en el agua potable

Existen varios métodos para medir el cloro residual, entre estos se pueden mencionar:

- Métodos yodométricos
- Métodos amperométricos
- Método de titulación con DPD y
- Métodos colorimétricos

Los métodos yodométricos son usados para cuantificar cloro residual en concentraciones mayores de 1 mg/L, generalmente presenta interferencias en proporción de yoduro de potasio y iones hidrógeno agregados.

Los métodos de titulación amperométrica tienen mayor sensibilidad, con ellos podemos cuantificar cloro libre y cloro combinado, los resultados se ven afectados por la presencia de agentes oxidantes, variaciones de temperatura y turbidez.

En el método de titulación con DPD (N,N p-fenilen diamina), el agente oxidante que se usa es el sulfato ferroso amoniacal y la DPD es usada como indicador, es posible cuantificar cloro libre, mono-cloraminas, di-cloraminas o cloro combinado, cloro libre y cloro total.

Los métodos mencionados anteriormente son ampliamente usados en el laboratorio, dependiendo de la concentración de cloro residual y el tipo de cloro residual que se quiera cuantificar.

Los métodos colorimétricos tienen la ventaja sobre los anteriores, debido a que se pueden adaptar con facilidad a equipos portátiles para hacer la determinación con comparación visual.

1.9. Determinación de cloro residual en campo con DPD

Es uno de los métodos más empleados para el chequeo del cloro residual contenido en el agua, debido a su facilidad de uso y efectividad.

1.9.1. Principio

El cloro libre reacciona instantáneamente con la DPD (N, N dielit p-fenilen diamina) que con pH comprendido entre 6,2 y 6,5, produce un complejo de color rosa, la intensidad de este es proporcional a la cantidad de cloro libre presente en la muestra, que puede valorarse volumétricamente con una

solución de sulfato ferroso amoniacal al 0,1 % (1 ml de esta solución corresponde a 0,1 mg de cloro), o semicuantitativamente por comparación con una escala de color.

Se realizan dos valoraciones, en la primera de ellas se determina el cloro residual libre, mientras que en la segunda, tras la adición de yoduro potásico en exceso para liberar el cloro combinado, la valoración corresponde al cloro residual combinado en forma de libre.

Posteriormente, la adición de una pequeña cantidad de ion yoduro, actúa catalíticamente produciendo color por la presencia de monocloraminas. La adición de un exceso de ion yoduro provoca una rápida respuesta por la presencia de dicloroaminas.

1.9.2. Aparatos

Existen muchos *kits* disponibles en el comercio para analizar el cloro residual en el agua, los *kits* son pequeños y portátiles. Para el caso de la medición por DPD, se pueden encontrar medidores cuyos reactivos son en tabletas y otros con soluciones líquidas; por cuestiones prácticas, se recomienda usar el comparador de cloro con goteros de reactivos, ver figura 5.

Figura 5. Comparador de cloro con goteros de reactivos



Fuente: elaboración propia.

1.9.3. Reactivos

Reactivo de DPD.- se disuelve 1 g de oxalato de N, N Dietil p-fenien diamina o 1,1 g de sulfato de DPD anhidro en agua destilada libre de cloro que contenga 8 ml de ácido sulfúrico 1:3 y 200 mg de EDTA disódico y afore a un litro.

1.10. Reglamento para la calidad del agua potable

En Guatemala, el reglamento que estipula los parámetros de las características físicas, químicas, biológicas o radiactivas para la distribución de un cuerpo de agua, es la Norma COGUANOR NGO 29 001:99. Su objetivo es determinar los niveles adecuados que deben tener los componentes que se

encuentren en el agua y que puedan representar un riesgo para la salud de las comunidades.

1.10.1. Norma COGUANOR NGO 29 001:99

La Norma COGUANOR NGO 29 001:99 del Ministerio de Economía, establece que se deben realizar exámenes bacteriológicos, físicoquímicos parciales, físicoquímico sanitario, físico químico especial y análisis de desechos líquidos, con la finalidad de controlar la calidad del agua potable que se distribuye a los consumidores. Los resultados de los exámenes físicoquímicos y bacteriológicos, se comparan con los parámetros establecidos en la norma. Algunos valores deberán estar asociados a parámetros cualitativos y cuantitativos, los cuales han sido establecidos en base a resultados de estudios y la experiencia,; los cuales, en su mayoría, han sido establecidos por normas.

Esta norma ha sido escrita en Guatemala y publicada por la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR del Ministerio de Economía, y es denominada Norma COGUANOR NGO 29 001:99. Las siglas NGO, se refieren a Norma Guatemalteca Obligatoria, debido a que el control de la calidad del agua es una tarea de gran importancia para el resguardo de la salud de la población.

1.11. Reglamento para la calidad del agua de mezcla para uso de producción de cemento hidráulico

Las Normas establecen los parámetros que deben cumplir cada uno de los elementos que componen el concreto, para que este se pueda desempeñar según lo establecido por el ingeniero.

1.11.1. Norma COGUANOR NTG 41073

La norma guatemalteca COGUANOR NTG 41073, es una norma técnica que establece los parámetros del contenido de elementos que puede contener el agua usada para la elaboración de la mezcla de concreto. Debido a que algunos minerales, elementos y el contenido de materia orgánica presente en el agua, puede afectar el desempeño mecánico del concreto, es necesario realizar controles en la calidad del agua y en la composición de los aditivos que se añadan a la mezcla de concreto y comparar los resultados con lo establecido en dicha norma.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las caracterización de los agregados finos y gruesos influyen de forma directa en el comportamiento del concreto, con lo cual, dichos agregados serán evaluados en base a normas establecidas. Los resultados de los ensayos de laboratorio serán tomados como referencia para establecer criterios de influencia, y cómo estos pueden afectar en las interacciones de los componentes del concreto con los diferentes niveles de cloro residual en el agua para la mezcla.

Las mediciones de pH y el contenido cloro residual del agua usada para la mezcla de concreto, serán realizadas siguiendo los procedimientos de los manuales de los productos y equipos a utilizar.

La tesis de la ingeniera, Evelyn Maribel Morales Ramírez describe la maquinaria y los procedimientos para cada uno de los ensayos que se realizan en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, según las normas ASTM. Dichos procedimientos y maquinarias se describen a continuación:

2.1. Ensayo de análisis completo para agregados (fino y grueso), según normas ASTM

Se evaluarán las características principales de los agregados finos y gruesos, siguiendo los parámetros establecidos en las normas ASTM correspondientes.

2.1.1. Granulometría para agregado fino y grueso, según norma ASTM C 136

El ensayo granulométrico consiste en analizar (usando un método separativo) los porcentajes de los tamaños de granos contenidos en la muestra.

Para que el agregado grueso pueda ser clasificado como de buena calidad, la graduación de las partículas del agregado deberá cumplir con los límites fijados en las especificaciones de la norma.

2.1.1.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con capacidad de 1 kg o más, con aproximación a 0,1 g o menos, para agregado fino.
- Balanza con capacidad de 20 kg o más, con aproximación a 0,5 g o menos, para agregado grueso.
- Tamizadora para agregado fino con tamices No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y fondo; con armadura.
- Tamizadora para agregado grueso con tamices de 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4 y fondo.
- Horno a temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C).
- Cepillo de alambre.
- Cepillo de cerda.

2.1.1.2. Procedimiento

- Secar la muestra de agregado en horno a temperatura de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C).
- Tomar masa de la muestra del agregado, según sea fino o grueso.

2.1.1.3. Agregado fino

- Agregado que pase menos del 95 % del tamiz No. 8, 100 gramos.
- Agregado que pase menos del 85 % del tamiz No. 4 y más del 5 % retenido en el tamiz No. 8 500 gramos

2.1.1.4. Agregado grueso

A continuación, en la tabla I se presentan los tamaños de tamices y masa mínimas de ensayo.

Tabla I. **Tamaños de tamices y masa mínimas de ensayo**

Máximo tamaño nominal, abertura de cuadro, mm (in)	Masa mínima de la masa a ensayar, kg (lb)
150 (6)	500 (1100)
125 (5)	300 (660)
112 (4 ½)	200 (440)
100 (4)	150 (330)
90 (3 ½)	100 (220)
75 (3)	60 (130)
63 (2 ½)	35 (77)
50 (2)	20 (44)
37,5 (1 ½)	15 (33)

Continuación de la tabla I.

25,0 (1)	10 (22)
19,0 (3/4)	5 (11)
12.5 (1/2)	2 (4)
9,5 (3/8)	1 (2)

Fuente: elaboración propia.

- Colocar los tamices en orden de tamaño decreciente, con fondo en la parte inferior, y en la parte superior una tapadera.
- Abrir la tapadera de los tamices y colocar el agregado homogéneo dentro del tamiz superior.
- Tamizar en forma manual o mecánica durante 10 minutos, con el fin de acomodar el agregado por tamaños, sin causar daño en la abertura de los tamices.
- Al finalizar el tamizado, tomar la masa del material, m_{mat} indicando el número de tamiz y la cantidad de material retenido en cada uno.
- Los tamices después de vaciar su contenido deberán quedar limpios utilizando un cepillo de alambre para tamices mayores del No. 30 y un cepillo de cerda para tamices menores del No. 30.
- La pérdida de material durante el tamizado y toma de masas, no debe sobrepasar el 0,3 % de la masa original.

2.1.1.5. Cálculos

- El porcentaje total del material retenido en cada tamiz.

$$\% \text{ mat. Retenido} = (\text{masa total del material} / \text{masa del material retenido})$$

- El porcentaje de material que pasa:

$$\% \text{ mat. que pasa} = 100 - \% \text{ mat. retenido}$$

- Módulo de finura (ver Tabla I)

$$\text{M.F.} = (\% \text{ mat. retenido del tamiz No.4 al No.100}) / 100$$

Tabla II. **Clasificación de la arena por su módulo de finura**

ARENA	MÓDULO DE FINURA
Gruesa	2,9 – 3,2
Mediana	2,2 – 2,9
Fina	1,5 – 2,2
Muy fina	1,5

Fuente: elaboración propia.

Normalmente para concreto debe usarse arena con M.F. entre 2,2 y 3,2, preferiblemente a arena media. Fuente: Morales, E. (2006). Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción (p. 71). Ingeniera Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.1.2. Masa unitaria en agregados finos y gruesos, según norma ASTM C29

Esta norma es aplicada para calcular la masa unitaria de agregados gruesos, finos y mixtos, en condiciones de material compactado y suelto; el tamaño de los agregados deberá ser menor a 6" (150mm).

La masa unitaria, es la relación entre la masa del material y un volumen ocupado por el mismo expresado en kg/m^3 . Hay dos valores para esta relación: la masa unitaria suelta y la masa unitaria apisonada, la primera se utiliza para convertir de masa a volumen, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto. La segunda se usa para conocer el volumen del material apilado. En ambos casos, esta masa se debe obtener con material en estado seco-saturado, para fines de comparación¹.

2.1.2.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con capacidad necesaria según la muestra, aproximación a 0,05kg (0,1lb).
- Apisonador de \varnothing 5/8" (16mm) y 24" (600mm) de largo; con punta redonda o hemisférica.
- Medidor cilíndrico metálico con altura entre 80 % y 150 % de su diámetro.
- Pala o cucharón pequeño.

¹ MORALES, Evelyn. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. p. 21.

2.1.2.2. Procedimiento

- El tamaño de la muestra será entre 125 % a 200 % de la cantidad necesaria para llenar el medidor, para cada prueba (ver tabla II).

Tabla III. **Capacidad del medidor, según tamaño de agregado**

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad del medidor		
in	mm	Pie ³	L	M ³
6	150	3 ½	100	0,100
4 ½	112	2 ½	70	0,070
3	75,0	1	28	0,028
1 ½	37,5	½	14	0,014
1	25,0	1/3	9,3	0,093
1/2	12,5	1/10	2,8	0,0028

Fuente: MORALES, E. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. p. 74.

- Sacar la muestra al horno a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C), hasta llevarlo a su condición seca.
- Procedimiento por apisonado: para agregado de tamaño menor de 1 ½” (37,5 mm).

Llenar el medidor con las manos hasta 1/3, con el apisonador dar 25 golpes en forma distribuida sobre el primer tercio, llenar el medidor hasta 2/3 y apisonar con 25 golpes distribuidos, completar el llenado del medidor y apisonar con otros 25 golpes, completar el llenado del medidor y apisonar con otros 25 golpes. Completar el llenado con las manos acomodando las partículas en los

espacios vacíos y rasar la superficie; la fuerza que se aplica al apisonar no debe dañar la estructura del agregado, solo debe acomodar la capa apisonada.

- Procedimiento por salto: para agregado entre 1 ½" (37,5 mm) a 6" (150 mm).

Llenar el medidor con las manos, cada tercio, compactando cada capa sobre una superficie de concreto, en 50 tiempos, 25 tiempos de cada lado, elevando cada lado del medidor alternativamente 2" (50 mm). Completar el llenado del medidor con las manos acomodando partículas entre los vacíos, y rasar.

- Procedimiento de llenado con pala:

Llenar completamente el medidor con una pala sin pasar las 2" (50 mm) sobre la superficie y rasar.

- Cada ensayo debe realizarse dos veces para promediar el resultado.
- Pesarse el medidor más su contenido, para cualquiera de los procedimientos.
- Pesarse el medidor vacío.

2.1.2.3. Cálculos

- Masa unitaria:

$$m. u. = \frac{m. m.}{v. r.}$$

Donde:

m.u. = Masa unitaria en kg/cm³

m.m. = Masa del material en kg

v.r. = Volumen del recipiente en cm³

- Porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{(g * 1\ 000) - m. u.}{g * 1\ 000} * 100$$

Donde:

g = Gravedad específica

m.u. = Masa unitaria en kg/cm³

2.1.3. Gravedad específica y absorción del agregado grueso, según norma ASTM C127

“La norma específica es generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contengan agregados como el concreto de cemento Pórtland, el concreto bituminoso, u otras mezclas que están proporcionales o analizadas sobre un volumen básico. La gravedad específica también es usada en el cálculo de vacíos en el agregado.”²
(Morales, 2006)

² MORALES, Evelyn. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción.* p. 25.

2.1.3.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con aproximación a 0,05 kg (0,1l), equipada con un sistema que soporte canasta-muestra.
- Horno a temperatura uniforme de 230 ± 5 °F (110 ± 5 °C).
- Canasta de hierro de espesor 3,3 mm (No. 6) o un balde de aproximadamente igual ancho que alto, con capacidad de 4 a 7L, con un sistema de soporte a la pesa.
- Tanque de agua, en el cual la canasta de hierro pueda ser suspendida.
- Tamices No. 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", y No.4.

2.1.3.2. Procedimiento

- Tamizar el material, desechando el agregado que pasa el tamiz No. 4.
- Lavar el material para remover el polvo, u otro agregado fino adherido a la muestra.
- Secar el material al horno a 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C), hasta llevarlo a su condición seca.
- Retira la muestra del horno, dejándola en un ambiente fresco de 1 a 3 horas, hasta que la muestra pueda palparse o alcance una temperatura de 50 °C.

- La cantidad de masa natural (m_n) a ensayar, dependerá del tamaño de las partículas del agregado; cuando el material se encuentra en condiciones mixtas se toma la diferencia de las masas mínimas; entre el máximo y mínimo tamaño nominal del agregado.

Tabla IV. **Cantidad de masa natural**

Tamaño máximo nominal mm(in)	Masa mínima de la muestra Kg(lb)
150 (8)	125 (276)
125 (5)	75 (165)
112 (4 ½)	50 (110)
100 (4)	40 (88)
90 (3 ½)	25 (55)
75 (3)	18 (40)
63 (2 ½)	12 (26)
50 (2)	8 (18)
37,5 (1 ½)	5 (11)
25,0 (1)	4 (8,8)
19,0 (¾)	3 (6,6)
12,5 (1/2 o menos)	2 (4,4)

Fuente: elaboración propia.

- Sumergir la canasta con la muestra de agregado en agua a temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$) con una densidad de $997 \pm 2\text{kg/m}^3$ por 24 ± 4 horas.
- Extraer la muestra de agua, y colocarla en un paño largo absorbente frotando individualmente las partículas largas hasta remover del agregado toda la película de agua. Una corriente de aire puede ayudar en el proceso de secado. Evitar la evaporación del agua en los poros internos del agregado.

- Tomar la masa de la muestra en su condición de superficie seca saturada (m_{ss}).
- Inmediatamente colocar el material en la canasta y sumergirlo en el agua a una temperatura de $23 \pm 17^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$) con una densidad de $997 \pm 2\text{kg/m}^3$, después de remover por medio de agitación todo el aire atrapado en las partículas, tomar la masa seca saturada sumergida (m_{sss}).
- Secar la muestra al horno a $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5^\circ\text{C}$), hasta llevarlo a su condición seca. Retirar la muestra del horno, dejándola en un ambiente fresco de 1 a 3 horas, hasta que la muestra pueda palpase o alcance una temperatura de 50°C , tomar la masa seca de la muestra (m_s).

2.1.3.3. Cálculos

- Gravedad específica:

$$g = \frac{m_n}{m_{ss} - m_{sss}}$$

Donde:

g = Gravedad específica

m_m = Masa natural al aire en g

m_{ss} = Masa superficie seca saturada al aire en g

m_{sss} = Masa seca saturada sumergida en g

- Gravedad específica aparente:

$$g_A = \frac{m_n}{m_n - m_{SSS}}$$

Donde:

g_A = Gravedad específica aparente

m_n = Masa natural al aire en g

m_{SSS} = Masa superficie seca saturada al aire en g

- Porcentaje de absorción:

$$\%_{abs} = \left(\frac{m_{SS} - m_n}{m_n} \right) * 100$$

Donde:

$\%_{abs}$ = Porcentaje de absorción en %

m_n = Masa natural al aire en g

m_{SS} = Masa superficie seca saturada al aire en g

2.1.4. Gravedad específica y absorción del agregado fino, según norma ASTM C 128

“La gravedad específica es generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contengan agregados como el concreto de cemento Portland, el concreto bituminoso u otras mezclas que son

analizadas en base a un volumen básico, es también usada en el cálculo de % de vacíos en el agregado.”³

Para este ensayo se tomará una muestra de 500 g de agregado fino.

2.1.4.1. Maquinaria y equipo

- Matraz con volumen de 500 cm³.
- Pipeta con capacidad para 0,15 ml.
- Cono metálico con diámetro interno superior de 40 ± 3mm y diámetro interno inferior de 90 ± 3mm, altura de 75 ± 3mm, espesor de 0,8mm.
- Balanza con capacidad de 1 kg o más, con aproximación a 0,1 g o menos.

2.1.4.2. Procedimiento

- Obtener aproximadamente 1 kg de agregado fino homogenizado.
- Colocar en un recipiente el agregado fino cubierto con agua en el horno a una temperatura de 110 ± 5°C (230 ± 9°F), durante 24 ± 4 horas, hasta obtener al menos un 6 % de humedad. Durante este tiempo debe votarse el agua teniendo el cuidado de no perder los finos.
- Durante el tiempo que el agregado permanezca en el horno, se realizarán varias pruebas del cono, con intervalos de tiempo, indicando

³ MORALES, Evelyn. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción.* p. 27

cuando el material tenga todavía alguna superficie de agua, y finalizando las pruebas, hasta que alcance la humedad deseada.

- Para la prueba del cono: dicho cono se colca firmemente sobre una superficie suave, no obstante con el diámetro mayor hacia abajo, llenándolo con los dedos hasta pasar su superficie; apisonar con 25 golpes distribuidos, dejando caer el apisonador por gravedad aproximadamente 5mm (0,2”) dentro del agregado, remover el agregado en la parte externa de la base y levantar verticalmente el molde; si la humedad es la correcta el agregado tomará la forma del molde.
- Obtener una masa de $500 \pm 10\text{g}$ de agregado fino seco saturado (m_{ss}).
- Llenar parcialmente el matraz con agua e introducir los $500 \pm 10\text{g}$ de agregado. Completar con agua el 90 % de la capacidad del matraz.
- Agitar durante 15 a 20 minutos, invertir y rotar el matraz para eliminar todas las burbujas de aire.
- Nivelar la temperatura del matraz a $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$), por inmersión en agua circulante.
- Completar el nivel de agua del matraz con una pipeta.
- Determinar la masa total del matraz con agregado fino y agua (m_{m+f+a}).
- Remover todo el agregado fino y agua del matraz, lavar el matraz.
- Secar el matraz a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

- Colocar el matraz en un ambiente fresco durante $1 \pm \frac{1}{2}$ horas, tomar la masa del matraz (m_m).
- Determinar la masa del matraz con agua, llenándolo hasta su capacidad indicada (m_{m+a}).
- Realizar el ensayo dos veces y promediar los resultados.

2.1.4.3. Cálculos

- Masa de los finos:

$$m_f = m_m - m_{m+f}$$

Donde:

m_f = Masa del agregado fino en g

m_m = Masa del matraz en g

m_{m+f} = Masa del matraz y agregado fino en g

- Gravedad específica:

$$g = \left(\frac{m_m}{(m_f + m_{m+a}) - m_{m+f+a}} \right) * m_f$$

Donde:

g = Gravedad específica

m_m = Masa de matraz en g

m_f = Masa del agregado fino en g

m_{m+a} = Masa del matraz lleno con agua en g

m_{m+f+a} = Masa del matraz con agua y finos en g

- Porcentaje de absorción:

$$\%_{abs} = \left(\frac{m_n - m_{ss}}{m_{ss}} \right) * 100$$

Donde:

$\%_{abs}$ = Porcentaje de absorción en %

m_n = Masa natural de superficie seca saturada en g

m_{ss} = Masa superficie seca saturada al aire en g

2.1.5. Impurezas orgánicas en agregado fino para concreto, según norma ASTM C-40

Este procedimiento sirve para determinar la presencia de compuestos orgánicos dañinos en los agregados finos que son usados para cemento, morteros o concretos.

“Las impurezas en el agregado fino bajan la resistencia a compresión del concreto, y afecta la hidratación del cemento. Para este ensayo se tomará una muestra de 450 g de agregado fino, aproximadamente 1 lb.”⁴

⁴ MORALES, Evelyn. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción.* p. 42

2.1.5.1. Maquinaria y equipo

- Probetas de vidrio de 20 o 16 oz, (U.S. fluidas); 350 o 470 ml aproximadamente; incoloras, graduadas, con sección transversal ovalada, con tapón de seguridad.
- Probeta de vidrio de 7 oz (U.S. fluidas); 200 ml aproximadamente.
- Balanza con capacidad de 1 Kg y aproximación a 0,05kg (0,1 lb).
- Hidróxido de sodio.
- Colorímetro o dicromato potásico.
- Cucharón pequeño.

2.1.5.2. Procedimiento

- Disolver 3 partes por peso de hidróxido de sodio, en 97 partes de agua.
- Llenar la probeta con el agregado fino hasta 130 ml (4 ½ oz fluidas).
- Agregar la solución de hidróxido de sodio en la probeta que contiene el agregado fino, agitándola durante el llenado, hasta llegar a 200 ml (7 oz fluidas).
- Colocar 1 tapón de la probeta y agitarlo vigorosamente, dejándolo reposar durante 24 horas.

- Aproximadamente 2 horas antes de su uso, disolver el reactivo de dicromato potásico en concentración de ácido sulfúrico a una velocidad de 0,250 g/ 100 ml de ácido, usando si fuera necesario un calor suave para efectos de solución.
- Al finalizar las 24 horas de reposo, llenar una probeta de 75 ml (2 ½ oz) con el reactivo de dicromato potásico y comparar las dos probetas observando la oscuridad o la claridad del líquido.
- Para mayor precisión en el color del líquido, se puede sustituir la solución de dicromato potásico por un colorímetro de 5 colores.
- Comparando así el líquido de la probeta de agregado fino con el colorímetro, utilizando la siguiente tabla de colores para determinar el grado de contaminación del agregado:

Tabla V. **Grado orgánico en base a colorímetro**

Colorímetro No. Estándar	Grado orgánico
5	1
6	2
11	3 (estándar)
14	4
16	5

Fuente: MORALES, E. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción.* p. 89.

2.1.5.3. Reportar

- Grado de contaminación si hubiese. Lo permisible es el grado 3.

2.2. Ensayo experimental de desgaste en el agregado grueso por exposición al hipoclorito de sodio

El agregado grueso usado en la elaboración de la mezcla de concreto, dependiendo de su procedencia y los procesos físico-químicos involucrados en su formación, puede tener diferentes características que afecten la composición química o generen reacciones con los demás elementos que conforman la mezcla de concreto.

Para este caso, se realizará una evaluación del desgaste o abrasión que pueda provocar el cloro residual del agua al agregado grueso, utilizando un método experimental, tomando como referencia los criterios establecidos en la norma COGUANOR NTG 41010 h6; dicha norma considera el desgaste generado en el agregado grueso por soluciones de sulfato de sodio y sulfato de magnesio, pero para este trabajo de graduación, en lugar de usar sulfato de sodio o sulfato de magnesio, se utilizará una solución de agua que contendrá 2 mg/L de cloro residual.

2.2.1. Maquinaria y equipo

- Balanza con una exactitud de 0,1 % o de 1g.
- Horno de secado capaz de ser calentado continuamente hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Recipientes para sumergir las muestras de agregado en la solución.
- Solución de agua con una dosificación de 2 mg/L de cloro residual.

2.2.2. Procedimiento

- Preparar la muestra de agregado grueso de acuerdo a lo establecido en el procedimiento de ensayo de granulometría, tomando solo el tamiz de mayor cantidad de material retenido.
- Tamizar el material de forma manual o mecánica durante 10 minutos.
- Al finalizar el tamizado, tomar 300 gramos del material.
- Lavar completamente la muestra del material para eliminar las partículas finas que pudieran haber y se secarlo a $110^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
- Se prepara la solución para la inmersión de las muestras de ensayo. El volumen de la solución debe ser por lo menos cinco veces el volumen de las muestras sumergidas.
- Se sumergen las muestras en la solución preparada por un período no menor a 16 horas ni mayor de 18 horas, de tal manera que la solución las cubra con un espesor de por lo menos 12,5 milímetros.
- Después del periodo de inmersión, se extrae la muestra de agregado de la solución, se le permite drenar por 15 ± 5 minutos y se coloca en el horno de secado. La temperatura del horno deberá ser llevada previamente a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Con el horno conteniendo la máxima carga de muestras esperadas, se comprueban las pérdidas de peso de las muestras, removiéndolas y pesándolas sin enfriarlas, a intervalos de 2 a 4 horas. Se considera que

se ha alcanzado peso constante cuando la pérdida de peso sea menor a 0,1 % del peso de la muestra en 4 horas de secado.

- Este proceso se deberá repetir 4 veces.

2.2.3. Resultados

- Se deberá realizar una tabulación del peso inicial de la muestra de agregado y posteriormente comparar las pérdidas de peso en cada una de las corridas luego de secar la muestra.

2.3. Medición de los niveles del cloro residual contenido en el agua para la mezcla de elaboración de cilindros

La prueba más común es el indicador de DPD (diethyl-para-phenyl-diamina) mediante un *kit* de comparación. Esta prueba es el método más rápido y sencillo para evaluar el cloro residual.

2.3.1. Maquinaria y equipo

- Comparador de cloro con goteros de reactivos
- Reactivo de DPD
- Yoduro de potasio, cristales

2.3.2. Procedimiento

A continuación, se presenta el procedimiento para determinar cloro residual.

2.3.2.1. Procedimiento para determinar cloro residual total

- Se enjuagan las celdas varias veces con la muestra de agua a determinar.
- Se agregan 0,5 ml (10 gotas) del reactivo DPD en la celda; si se cuenta con un reactivo sólido, disolverlo previamente en un poco de la muestra con agitación moderada.
- Agregar la muestra de agua hasta la marca en ambas celdas y comparar con los patrones de color para obtener la concentración de cloro residual.

2.3.2.2. Procedimiento para determinar cloro residual libre

- Se enjuagan las celdas varias veces con la muestra de agua a determinar.
- Se agregan 0,5 ml (10 gotas) del reactivo de DPD en la celda, si se cuenta con reactivo sólido, disolverlo previamente en un poco de la muestra, con agitación moderada.
- Agregar la muestra de agua hasta la marca de ambas celdas.

- Agregar dos pizcas (aproximadamente 0,2 g) de yoduro de potasio a la celda que tiene la DPD y la muestra, agitar hasta disolver y dejar reposar por dos minutos, posteriormente comparar con los patrones de color.

Estas indicaciones pueden variar, dependiendo de la marca de comparador que se use.

2.3.3. Resultados

Los resultados son medidos en base a la comparación del color que presente la muestra de agua luego de haber aplicado los reactivos contra la escala que presenta el colorímetro del *kit* para medición de cloro residual.

2.4. Medición de pH en el agua para la elaboración de cilindros de concreto

El pH del agua (acidez) puede ser medido de diferentes maneras, las más comunes implican el uso de un reactivo que cambia la tonalidad del agua para posteriormente comparar dicha tonalidad con un colorímetro que indica el nivel de acidez de la muestra.

2.4.1. Maquinaria y equipo

- Colorímetro comparador de tonalidades
- Gotero de reactivo phenol rojo

2.4.2. Procedimiento

- Llenar de agua el colorímetro comparador de tonalidades hasta la marca indicada.
- Añadir las gotas necesarias de phenol rojo, normalmente 4 o 5.
- Agitar la muestra hasta homogenizar la tonalidad.
- Comparar la tonalidad adquirida por la muestra de agua con el de las escalas determinadas en el colorímetro.

2.4.3. Resultados

El resultado de la comparación de la tonalidad adquirida por la muestra de concreto luego de haberla mezclado con el reactivo, contra las tonalidades establecidas en el colorímetro, indicará el nivel de acidez que el agua contenga. El intervalo de pH establecido en el colorímetro es de 6,8 a 8,2.

2.5. Ensayo de carbonatación del concreto

Para la elaboración de este ensayo solo es necesario aplicar gotas de fenoftaleína sobre la superficie del elemento de concreto recién ensayado y determinar si el elemento sigue teniendo un pH mayor a 12, lo cual lo convierte en un elemento alcalino.

Con esta información se determina si el proceso de carbonatación del concreto está siendo afectado o no; para ello se observa que la fenoftaleína aplicada se torne en un tono fucsia.

2.6. Diseño teórico de mezclas de concreto, según el Código ACI 211.1

El concreto está elaborado en base a la mezcla de agregados finos y gruesos adheridos por un cementante y agua. El cálculo de las cantidades necesarias de cada uno de los componentes del concreto se debe realizar en función del uso que se le dará al elemento estructural y la resistencia que deseamos que este soporte.

El código ACI 211.1 establece en tablas, los parámetros necesarios que la mezcla de concreto debe cumplir para tener el desempeño deseado.

Como se muestra en la Tabla 6, el primer paso es clasificar el tipo de elemento estructural que se debe realizar, para ello se tienen diferentes valores de revenimiento que cada uno debe cumplir, en esta tabla se presentan los valores máximos y mínimos de revenimiento en centímetros.

Tabla VI. **Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción**

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción		
Tipos de construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7,5	2,5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de subestructura sencillos	7,5	2,5
Vigas y muros reforzados	10	2,5
Columnas para edificios	10	2,5
Pavimentos y losas	7,5	2,5
Concreto masivo	7,5	2,5

* El revenimiento se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos; se debe tener en cuenta que el concreto tratado con aditivo tiene una relación agua-cemento o agua-materiales cementantes igual o menor sin que potencialmente tenga segregación o sangrado excesivo. Se puede incrementar en 2,5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

Fuente: *Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción. Proportcionamiento de mezclas, Concreto normal, pesado y masivo.* p. 21.

Posteriormente, como segundo paso, se encuentra la cantidad de agua necesaria para la elaboración de 1 m³ del concreto deseado, para lo cual haremos uso de la Tabla 7, la cual indica la cantidad de agua necesaria para la elaboración del concreto en función del revenimiento calculado anteriormente y el tamaño nominal del agregado grueso. La tabla también indica la cantidad aproximada de aire contenido en la mezcla de concreto.

Tabla VII. **Requisitos aproximados del contenido de agua para diferentes tipos de concreto**

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado								
Revenimiento, cm	Agua, Kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2,5 a 5,0	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15,0 a 17,5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
2,5 a 5,0	181	175	158	160	150	142	122	107
7,5 a 10,0	202	193	184	175	165	157	133	119
15,0 a 17,5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado *** de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición								
Exposición ligera	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5**	10**
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5**	3,0#
Exposición severa**	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5**	4,0#

Fuente: *Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. Proporcionamiento de mezclas, Concreto normal, pesado y masivo. ACI 211.1 p. 23.*

Una vez determinada la cantidad de agua necesaria para la elaboración del concreto deseado, como tercer paso, se deberá establecer la relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión que se espera que tenga el concreto; para ello se hace uso de la Tabla 8 y con el uso del álgebra, se despeja la cantidad de cemento necesario para la elaboración de dicho concreto.

Tabla VIII. **Relación agua/cemento para diferentes tamaños de agregado grueso**

Correspondencia entre la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes y la resistencia a la compresión del concreto		
Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm²	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0,41	-
350	0,48	0,40
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Fuente: *Correspondencia entre la relación de agua/cemento o agua/materiales cementantes y la resistencia a la compresión. Proporcionamiento de mezclas, Concreto normal, pesado y masivo. ACI 211.1 p. 24.*

En la tabla 9 se encuentran valores de relación agua/cemento que contemplan situaciones en donde el concreto estará expuesto a condiciones severas, en donde puede sufrir daños por deshielo o el ataque de sulfatos.

Tabla IX. **Relaciones agua/cemento para concreto expuesto a diferentes ataques**

Relaciones agua/cemento o agua/materiales cementantes máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas*		
Tipos de estructura	Estructura continuamente húmeda o frecuentemente expuesta a congelamiento y deshielo+	Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas (Bardas, bordillos, cornisas y trabajos ornamentales) y secciones con menos de 5 mm de recubrimiento sobre el refuerzo	0,45	0,40++
Todas las estructuras	0,50	0,45++

Fuente: *Relaciones agua/cemento o agua/materiales cementantes máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas. Proporcionamiento de mezclas, Concreto normal, pesado y masivo. ACI 211.1 p. 24.*

La cantidad de agregados gruesos y finos necesarios para la elaboración del concreto, son un porcentaje del peso nominal total del concreto, por lo tanto, el porcentaje de agregado grueso por volumen unitario de concreto está dado en la Tabla 10, por lo cual, como quinto paso, se debe determinar dicho valor porcentual, el cual está en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena, y de esta manera, calcular la cantidad de agregado fino y grueso que será necesario para la elaboración del concreto.

Tabla X. **Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto**

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8")	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2")	0,59	0,57	0,55	0,53
19 (3/4")	0,66	0,64	0,62	0,60
25 (1")	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1 1/2")	0,75	0,73	0,71	0,69
50 (2")	0,78	0,76	0,74	0,72
75 (3")	0,82	0,80	0,78	0,76
150 (6")	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: *Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. Proporcionamiento de mezclas, Concreto normal, pesado y masivo. ACI 211.1 p. 26.*

Una vez calculadas las cantidades de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, necesarios para la elaboración de 1 m³ de concreto con las especificaciones necesarias para cumplir los requerimientos estructurales establecidos, se procede a multiplicar dichos valores calculados por el volumen del elemento, esto se hace para calcular las cantidades máxicas necesarias para la elaboración del elemento de concreto.

De ser necesario, se deben realizar correcciones a la cantidad de agua necesaria para la elaboración de la mezcla, esto debido a la presencia de humedad en los agregados. Esto se realiza empleando la siguiente ecuación:

$$A = B * \frac{1 + \%HC}{1 + \%ABS}$$

Donde:

A = cantidad de agregado grueso o fino en Kg sin agua

B = cantidad de agregado grueso o fino calculado en el quinto paso

% HC = porcentaje de humedad contenido en el agregado fino o grueso

%ABS = porcentaje de absorción del agregado fino o grueso

Una vez calculados los valores de agregados finos y gruesos sin agua, la resta de estos con los valores calculados en el paso quinto, nos dará la cantidad de agua que esta contenida como humedad en los agregados, dicho valor de agua contenida, debe ser restado del valor de agua calculado en el segundo paso.

De esta manera se realiza el diseño de mezcla para la elaboración de los cilindros de concreto que se emplean en este trabajo de graduación, haciendo uso del método ACI 211.1 y de los parámetros establecidos en el mismo. Las cantidades de materiales necesarias para elaborar un concreto con $f'c$ de 4000 psi se resumen de la siguiente manera:

Tabla XI. **Resumen de cantidades de materiales para la elaboración del concreto para los cilindros de ensayo**

Cemento	14,01 Kg
Agregado Fino	27,53 Kg
Agregado Grueso	31,04 Kg
Agua	8,00 L

Fuente: elaboración propia.

Como los cilindros de concreto a evaluar se realizarán en condiciones de laboratorio en donde las cantidades pueden ser medidas con precisión, no se harán aproximaciones a las cantidades de la tabla V.

2.6.1.1. Cálculo de volumen de cloro para desinfección del agua para la mezcla

Se utilizará cloruro de sodio, cuya concentración será del 3,863 %; y con él se aplicarán diferentes dosis al agua para la mezcla, con el fin de obtener los niveles de cloro residual deseados para las mezclas a evaluar en este estudio.

La cantidad de cloro a aplicar a un volumen de agua para desinfección con una dosis deseada, es posible calcularla mediante la siguiente ecuación:

$$V_{cloro} = \frac{V_{agua} * D_{cloro}}{C_{cloro}}$$

Donde:

V_{cloro} = Volumen de cloro que se agregará, expresado en litros.

V_{agua} = Volumen de agua que se va a desinfectar, expresado en litros.

Dcloro = Dosis de cloro a agregar en el agua a desinfectar, expresado en litros.

Ccloro = Concentración del producto de cloro indicado por el fabricante en mg/L o en porcentaje.

La *Ccloro* en la ecuación hay que colocarlo en mg/L; por ello, si la concentración estuviera dada en porcentaje, hay que pasar de % a mg/L, según la siguiente tabla:

Tabla XII. % a mg/L

Ccloro %	Ccloro mg/L
0,5	5 000
1,0	10 000
5,0	50 000

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de agua necesaria para realizar la mezcla con la que se elaborarán los cilindros a evaluar, ya fue calculada anteriormente en el diseño de mezcla; esta cantidad fue de 8,00 L. Dicho valor será el que usaremos para sustituir *Vagua* en la ecuación de *Vcloro*.

- Volumen de cloro para una dosis de 5 mg/L

$$V_{cloro} = \frac{8,00L * 0,50 \frac{mg}{L}}{38,625 \frac{mg}{L}} = 0,1035 mL = 2 \text{ gotas}$$

- Volumen de cloro para una dosis de 1 mg/L

$$V_{\text{cloro}} = \frac{8,00L * 1,00 \frac{mg}{L}}{38,625 \frac{mg}{L}} = 0,2071 mL = 4 \text{ gotas}$$

- Volumen de cloro para una dosis de 2 mg/L

$$V_{\text{cloro}} = \frac{8,00L * 2,00 \frac{mg}{L}}{38,625 \frac{mg}{L}} = 0,4142 mL = 8 \text{ gotas}$$

2.6.1.2. Resumen de los materiales a utilizar para la elaboración de los cilindros de concreto

A continuación se presentan tablas con el resumen de los materiales a utilizar para elaborar los cilindros de concreto a evaluar:

Tabla XIII. **Para la elaboración de 6 cilindros con cloro residual 0,5 mg/L**

Cemento	14,01 kg
Agregado fino	27,53 kg
Agregado grueso	31,04 kg
Agua	8,00 L
Cloro al 3,863 %	2 gotas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Para la elaboración de 9 cilindros con cloro residual 1 mg/L**

Cemento	14,01 kg
Agregado fino	27,53 kg
Agregado grueso	31,04 kg
Agua	8,00 L
Cloro al 3,863%	4 gotas

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Para la elaboración de 9 cilindros con cloro residual 2 mg/L**

Cemento	14,01 kg
Agregado fino	27,53 kg
Agregado grueso	31,04 kg
Agua	8,00 L
Cloro al 3,863 %	8 gotas

Fuente: elaboración propia.

2.6.2. Preparación y ensayos de cilindros de concreto

Los cilindros de concreto deberán ser curados; esto se logra sumergiendo en agua los cilindros de concreto para evitar que tenga una pérdida de agua durante el proceso de fraguado, lo cual generaría fisuras en el elemento.

Antes de realizar el ensayo a compresión, se deberán realizar mediciones de las dimensiones que tenga el cilindro, estas deberán ser: diámetro y altura del cilindro. Se deben realizar tres medidas de cada dimensión para realizar un promedio.

Según la Norma ASTM C39/39, los cilindros de concreto no pueden ser ensayados si hay una variación de cualquier diámetro individual mayor al 2 %. Tampoco se podrán ensayar los cilindros cuyos extremos no sean planos dentro de 0,002 pulgadas; en el caso que no cumplan con esta condición, podrán ser esmerilados o aserrados con el fin de cumplir con la tolerancia requerida.

Si se requiere conocer la masa del cilindro, se debe eliminar la humedad superficial que pueda contener el espécimen.

2.6.2.1. Ensayo de determinación de la resistencia a compresión en cilindros de concreto según Norma ASTM C39/C39

Con este ensayo se determina la capacidad del concreto para resistir los esfuerzos a compresión, para ello se deben evaluar especímenes de concreto de forma cilíndrica. Estos cilindros, según la norma ASTM C39/39, deberán ser de 12 pulgadas o 6 pulgadas de altura, y la base deberá ser de la mitad de su altura.

2.6.3. Maquinaria y equipo

- Máquina de ensayo con capacidad de aplicar carga continua y sin impacto. La velocidad de la carga deberá ser $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.
- Bloques de apoyo de acero con caras endurecidas, las cuales servirán como base para los especímenes de concreto. Las caras de apoyo de los bloques deben ser como mínimo 3 % mayor que el diámetro del espécimen a evaluar.
- Balanza o escala que sea exacta dentro del 0,3 % de la masa que está siendo medida.

2.6.3.1.1. Procedimiento

- Ensayar los especímenes lo más pronto posible, después de haberlos extraído de su curado en húmedo.

- Colocar el espécimen de concreto sobre la base circular de la máquina de ensayo, alineando el eje vertical de tal forma que sean perpendiculares la parte del apoyo con la aplicación de la carga.
- Previo a la aplicación de la carga, verificar que el indicador de carga de la máquina de ensayo esté en cero, de no ser así, realizar las correcciones necesarias.
- Aplicar carga con velocidad constante y sin impacto. La velocidad de aplicación de carga deberá ser $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.
- Aplicar carga hasta que el indicador de carga muestre un decrecimiento constante y la falla esté bien definida en el espécimen.

2.6.3.1.2. Resultados

Se deberá calcular la resistencia máxima a compresión en el espécimen dividiendo la carga máxima reportada durante el ensayo por el promedio del área de la sección transversal. El resultado deberá ser expresado aproximando a los 0,1 MPa (10 lb/in²) más cercanos.

2.7. Características de las muestras de ensayo

Los cambios en las características físicas que presentan los cilindros de concreto, se basan en variaciones de su apariencia normal debido a la presencia de cantidades excesivas de sulfatos o material orgánico en los agregados o en el agua usada para la mezcla de concreto. Por su naturaleza, estos cambios superficiales son medidos de manera cualitativa.

2.7.1. Descripción de los materiales

- El olor en los agregados gruesos, finos y el agua, puede indicar una alta concentración de materia orgánica presente en cualquiera de estos elementos.
- Los agregados deberán presentar uniformidad en su tamaño nominal para un correcto desempeño mecánico en el concreto.
- El agua para la mezcla no debe presentar ningún tipo de olor o sabor, además, debe ser clara.

2.7.2. Descripción de los cilindros

- Según la norma ASTM C39, el diámetro de los cilindros de concreto es de 6" y su altura 12".
- La superficie de los cilindros deberá ser uniforme para evitar concentraciones de esfuerzos en un punto, debido a excentricidades en la aplicación de la fuerza a compresión.
- Las cavidades en las paredes de los cilindros (ratoneras), son provocadas por un mal proceso de fraguado, a la falta de hidratación del concreto o a un mal proceso de apisonamiento en el laboratorio.

3. MUESTRA DE RESULTADOS

3.1. Resultados del análisis de los agregados (fino y grueso)

Para garantizar que los cilindros de concreto elaborados para los ensayos no fueran afectados por factores externos, en su comportamiento físico y mecánico, se utilizaron agregados de alta calidad. Las propiedades físicas de estos agregados fueron evaluadas conforme a lo establecido en las normas correspondientes, dando como resultado la caracterización de los mismos.

Dichos resultados se presentan a continuación:

3.1.1. Agregado grueso

La caracterización del agregado grueso se realizó en laboratorio, bajo los requerimientos y parámetros establecidos en las normas correspondientes.

Tabla XVI. **Características físicas del agregado grueso**

Peso específico	2,68
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1 560,00
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 460,00
Porcentaje de absorción	1,00
Pasa tamiz # 200 (%)	0,30
Porcentaje de vacíos, compactado (%)	42,00
Porcentaje de vacíos, suelto (%)	46,00
Módulo de finura	5,85

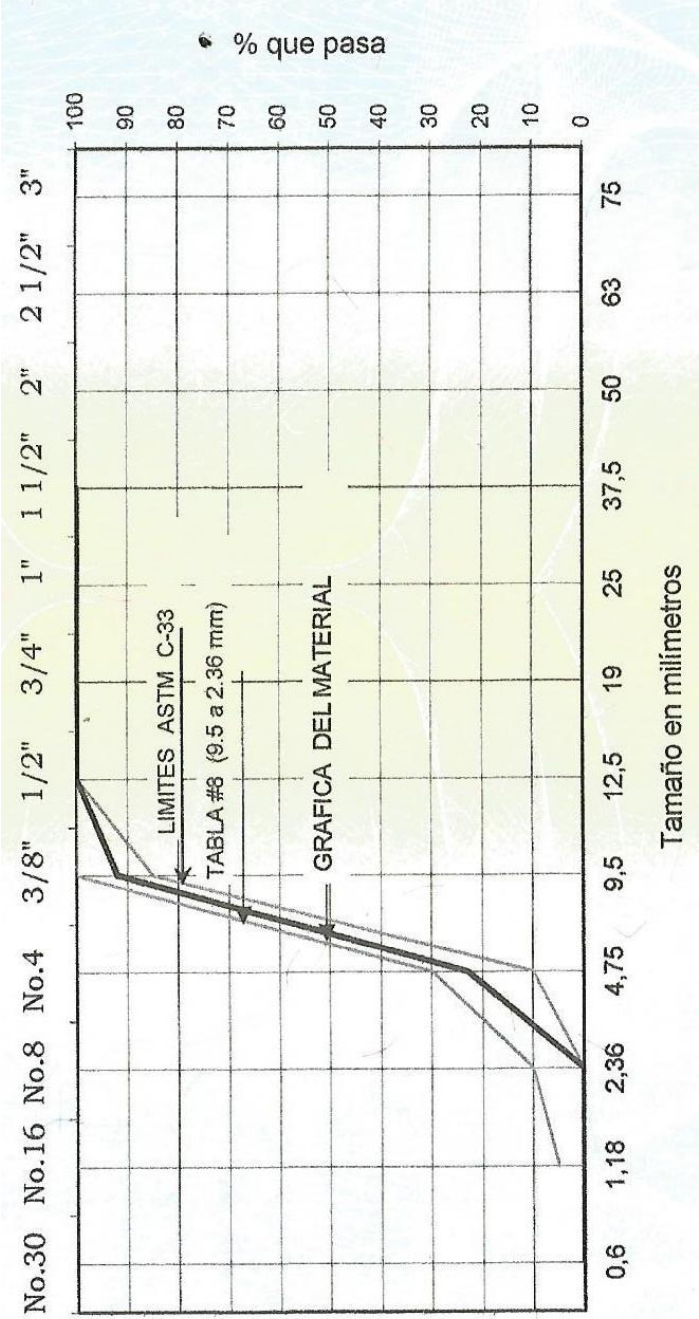
Fuente: elaboración propia.

Al comparar los resultados obtenidos con los parámetros establecidos en la norma ASTM C-33 y el código de proporcionamiento de mezclas del código ACI 211,1 podemos concluir lo siguiente:

- El porcentaje de agregado grueso que pasa por el tamiz # 200 en el ensayo realizado a la muestra, es de 0,30 % lo cual cumple con lo establecido en la norma ASTM C-33, el cual especifica que el porcentaje que debe pasar por el tamiz # 200 no puede ser mayor a 1 %.
- No existe información referente a los límites del módulo de finura en la norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), pero tomando como base los agregados utilizados en la elaboración de otras tesis, el módulo de finura se encuentra en un rango permisible.
- El peso específico de la muestra de agregado grueso analizado es de 2,68, y los límites establecidos en el código ACI 211,1 para agregado grueso son de 2,4 y 3,00, con lo cual, el agregado cumple con lo requerido para la elaboración de un concreto normal.
- Dado que el porcentaje de vacíos es de 46 %, esto indica que la forma del agregado es angulosa; dichos ángulos forman cavitaciones que deberán ser llenadas con agregado fino y pasta de cemento.
- El análisis realizado del peso unitario de la muestra de agregado es de $1,560 \text{ kg/m}^3$, y el valor requerido para la elaboración de un concreto normal está en el rango de $1,200 \text{ kg/m}^3$ a $1,750 \text{ kg/m}^3$, por lo tanto, el agregado utilizado sí cumple con los requerimientos establecidos.

- Los porcentajes de absorción que se puede presentar en el agregado grueso varían de 0,20 % a 4,00 %; y el resultado del análisis realizado a la muestra de agregado grueso indica que su porcentaje de absorción es de 1,00 %, lo cual establece que el agregado absorbe poca agua.
- La gráfica granulométrica que se presenta en la figura 11, contiene la curva de graduación de la muestra de agregado grueso y los límites establecidos en la norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33). Se puede observar que la curva de graduación del agregado utilizado para la elaboración de los cilindros se encuentra dentro de los límites establecidos

Figura 6. Gráfica granulométrica del agregado grueso



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado grueso**

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No.8	No.16
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	100,00	92,00	23,00	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

- El tamaño máximo nominal del agregado grueso se establece cuando el porcentaje retenido en el tamiz está en el rango de 5 % a 15 %, y debido a que la muestra analizada presenta el 8 % del material retenido en el tamiz de 3/8", se concluye que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 3/8".

Figura 7. **Agregado grueso analizado**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Agregado fino

Al igual que en el agregado grueso, la caracterización del agregado fino fue realizado bajo los requerimientos de las normas correspondientes.

Tabla XVIII. **Características físicas del agregado fino**

Peso específico (sss)	2,73
Masa unitaria, compactada (Kg/m ³)	1740,00
Masa unitaria, suelta (Kg/m ³)	1630,00
Porcentaje de vacíos, compactado (%)	36,00
Porcentaje de vacíos, suelto (%)	40,00
Porcentaje de absorción (%)	0,50
Contenido de materia orgánica	2
Pasa tamiz # 200 (%)	2,70
Retenido tamiz 6,35 (%)	0,00
Módulo de finura	2,67

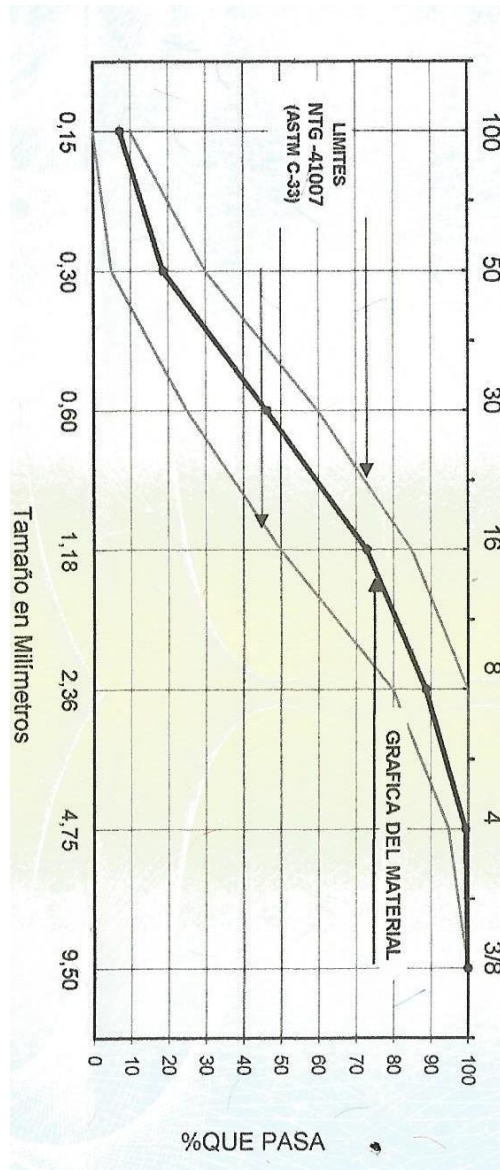
Fuente: elaboración propia.

Basado en lo establecido en el código ACI 211,1: proporcionamiento de mezclas, y en los parámetros de la norma ASTM C-33 para las características de los agregados finos; podemos concluir lo siguiente de los resultados de la tabla XII:

- Según lo indicado en la norma ASTM C-33, el porcentaje permisible que debe pasar en el tamiz No. 200 debe ser menor al 7 % para ser satisfactorio. El resultado de la caracterización realizada a la muestra de agregado fino, indica que el porcentaje que pasa en el tamiz No. 200 es de 2,70 %, dicho resultado está dentro de lo permitido en la norma, con lo cual, sí cumple con lo requerido para la elaboración de un concreto normal.

- El rango permisible dictado en la Norma ASTM C-33 en el que se debe encontrar el módulo de finura del agregado fino, es de 2,30 y 3,10. El resultado obtenido de la muestra analizada es de 2,67, lo cual indica que el agregado fino utilizado es ideal para la elaboración de los cilindros de concreto ensayados.
- La muestra de agregado fino analizada presenta un peso específico de 2,73. Frecuentemente, el rango del peso específico para el agregado fino se halla entre 2,40 y 2,90, lo cual es un indicativo que el agregado sí cumple con los límites establecidos.
- Normalmente, el rango en el cual varía el peso volumétrico del agregado fino utilizado para la elaboración de mezclas de concreto es de 1 200 kg/m³ a 1 750 kg/m³, y según los resultados obtenidos de los análisis realizados, el peso unitario de la muestra es de 1 7340 kg/m³, esto indica que el resultado es aceptable para la elaboración de la mezcla de concreto.
- El rango establecido en el cual debe estar el porcentaje de vacíos es de 40 % a 50 % y el porcentaje de vacíos de la muestra de agregado es de 36 %, esto indica que la cantidad necesaria de pasta de cemento destinada para sellar estos vacíos será menor.
- Dado a que el porcentaje de absorción es de 0,50, se puede concluir que el agregado fino analizado no absorbe mucha agua.
- Debido a que el contenido de materia orgánica en la muestra de agregado analizada es No. 2 y lo máximo permitido en la norma ASTM C-40 es No.3, se concluye que el resultado obtenido es aceptable.

Figura 8. Gráfica granulométrica del agregado fino



Fuente: elaboración propia.

- La gráfica granulométrica que se presenta en la figura 13, presenta la curva de graduación granulométrica de la muestra de agregado fino analizada y los límites establecidos por la norma NTG 52008 h-1 (ASTM

C-33), en dicha grafica se observa que la curva de la muestra se encuentra dentro de los límites establecidos.

Tabla XIX. **Porcentaje que pasa en los tamices para el agregado fino**

Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	99,40	88,80	73,00	46,30	18,80	7,20

Fuente: elaboración propia.

- Según lo dicta la Norma ASTM C-33, el porcentaje máximo permisible que puede pasar por cada tamiz es de 45,00 % y según los resultados presentados en la tabla XIII, el porcentaje más alto se encuentra en el tamiz No. 50, el cual es de 27,50 %, indicando que el agregado fino cumple con lo establecido en dicha norma.

Figura 9. **Agregado fino utilizado**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Resultados de las mediciones de cloro residual y pH en el agua usada para los cilindros

El método utilizado para la medición de la cantidad de cloro residual y el pH en el agua para la elaboración de cada mezcla de concreto, fue realizado mediante DPD, el cual es un método basado en la comparación de tonalidades, las cuales indican la cantidad de miligramos de cloro que se encuentran en un litro de agua analizada.

Las cantidades de cloro aplicadas al agua para la mezcla fueron calculadas mediante los métodos de dosificación del cloro para la desinfección del agua potable.

Los resultados de las cantidades de cloro y los niveles de pH en cada muestra de agua se presentan en la figura 15.

Figura 10. **Resultados de mediciones de cloro residual y pH en el agua para la mezcla de concreto mediante DPD**



Muestra 1

Cloro: 2,00 mg/L

pH: 7,80



Muestra 2

Cloro: 1,50 mg/L

pH: 7,60



Muestra 3

Cloro: 0,50 mg/L

pH: 7,50

Fuente: elaboración propia.

- Las tonalidades obtenidas en los diferentes niveles de cloro dosificado, sí son los esperados para las cantidades de cloro residual que se requería que tuviera el agua para la mezcla de concreto, esto indica que los cálculos de las cantidades de cloro para dosificación del agua son correctos.

- La Norma COGUANOR 29001-99 indica que el límite máximo aceptable del pH en el agua es de 7,0 a 7,5, y el límite máximo permisible es de 6,5 a 8,5; en cualquier caso, las cantidades de pH registradas en las mediciones de DPD no exceden de 7,8; por lo tanto, se considera que es una sustancia básica o alcalina.
- Se recomienda que las mediciones del contenido de cloro residual en el agua se realicen idealmente de 20 a 30 minutos después de haber dosificado el agua, debido a que el cloro deberá combatir los organismos para su completa desinfección.

3.3. Resultados de la apariencia física de los cilindros de concreto

Durante todo el proceso de fraguado de los cilindros de concreto evaluados, hubo cambios físicos y algunas anomalías en la apariencia de los cilindros que fueron realizados con cantidades de cloro residual mayores a las normales en el agua para la mezcla; dichas cantidades son: 1,0 mg/L y 2,0 mg/L. Cabe mencionar que la cantidad normal que debe presentarse de cloro residual en el agua potable es de 0,5 mg/L. Estas cantidades de cloro residual en el agua potable están dentro de los rangos establecidos en la Norma COGUANOR 29001-99, las cuales están permitidas bajo los criterios dados en la misma.

3.3.1. Cilindros de concreto elaborados con 0,5 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla

En los cilindros de concreto cuya agua para la mezcla contenía 0,5 mg/L de cloro residual, no se presentaron cambios en la apariencia física de los mismos, esto era de esperarse, debido a que el concreto elaborado con agua

potable debe tener un comportamiento normal al no ser afectado por factores que modifiquen la composición química del mismo.

Figura 11. **Cilindro de concreto a los 28 días, elaborado con 0,5 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla**



Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla

Durante las diferentes edades a las cuales fueron evaluados los cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla, se fueron presentando varias anomalías en la superficie de los mismos.

Los cilindros a la edad de 7 días, al estar completamente secos, presentaron un polvo blanco en gran cantidad sobre toda su superficie; esto es

provocado por la eflorescencia, la cual se presenta al haber una hidratación del calcio en la superficie del concreto.

Figura 12. Presencia de eflorescencia en la superficie de los cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual a los 7 días



Fuente: elaboración propia.

Aunado a esto, a la edad de 14 días, los cilindros evaluados presentaron una línea blanca superficial; esto puede ser debido a varias razones, una de ellas es la presencia de los sulfatos presentes en el agua para su fraguado, la cual, al hacer contacto con la eflorescencia provocada por la hidratación del concreto, generó dicha anomalía. A esta edad los cilindros todavía presentaron polvo blanco en su superficie, pero esta fue en menor cantidad comparada con la que presentaba a los 7 días.

Figura 13. **Anomalías superficiales en cilindros de concreto elaborados con 1,0 mg/L de cloro residual a los 14 días**



Fuente: elaboración propia.

Cuando fue realizado el ensayo a compresión en estos cilindros, la falla presentada no estuvo relacionada con la anomalía de las líneas blancas, esto establece que la presencia de estas fue solamente superficial, la cual puede tomarse como un indicativo de alerta con relación a la presencia de cloro residual en exceso en el agua para la mezcla.

Figura 14. **Ensayo a compresión de cilindro de concreto a los 14 días elaborado con 1,0 mg/L de cloro residual**



Fuente: elaboración propia.

Al realizar la evaluación física de los testigos de concreto a los 28 días, estos no presentaron otras anomalías además de la eflorescencia ya mencionada.

3.3.3. Cilindros de concreto elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual libre en su agua para la mezcla

Estos testigos de concreto fueron los que más anomalías presentaron durante todo su proceso de fraguado. La forma en la que el cloro puede afectar a la mezcla de concreto queda evidenciada en las múltiples patologías que surgieron en la superficie y dentro de los cilindros evaluados.

Con la edad de 7, 14 y 28 días, los cilindros, al estar completamente secos, presentaron polvo blanco en su superficie, provocado por la eflorescencia, pero en este caso, la cantidad de polvo blanco fue menor que en los cilindros fabricados con 1,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla.

Figura 15. **Presencia de eflorescencia en la superficie de los cilindros de concreto elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual**



Fuente: elaboración propia.

Además de la presencia de eflorescencia, después de realizado el ensayo a compresión de los cilindros de concreto a los 7, 14 y 28 días; se observó que el cemento dentro del cilindro aparenta no haber reaccionado completamente, esto debido a la alta presencia de cementante en polvo encontrado dentro de la muestra.

Figura 16. **Presencia de cementante en polvo dentro del cilindro de concreto elaborado con 2,0 mg/L de cloro residual en el agua para la mezcla**



Fuente: elaboración propia.

En comparación con los cilindros elaborados con 5,0 mg/L y 1,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla, el concreto con dosificación de 2,0 mg/L de cloro residual, presenta un cambio en la tonalidad con respecto a los otros, siendo este un tono más verde-amarillento; esto provocado por el color

natural del hipoclorito de sodio y la concentración del mismo. Dicha coloración fue constante a lo largo de los 28 días de fraguado.

Figura 17. **Cambio de coloración en cilindros elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual en su agua para la mezcla**



Fuente: elaboración propia.

La inusual coloración de los cilindros de concreto se fue perdiendo luego de ser expuesto al ambiente durante 15 días, esto provocado por la carbonatación del concreto al entrar en contacto con la atmósfera.

Al realizar una comparación entre la carga soportada por los cilindros y el peso que cada uno de estos tuvo, se puede observar que los cilindros con una dosificación de cloro de 2,0 mg/L presenta una disminución en su peso y resistencia con respecto a los de 1,0 mg/L y los de 0,5 mg/L.

A continuación se presenta una tabla, la cual hace referencia a los datos obtenidos de la caracterización del peso y resistencia última de los cilindros de concreto ensayados en sus edades respectivas:

Tabla XX. **Comparativa de peso y resistencia**

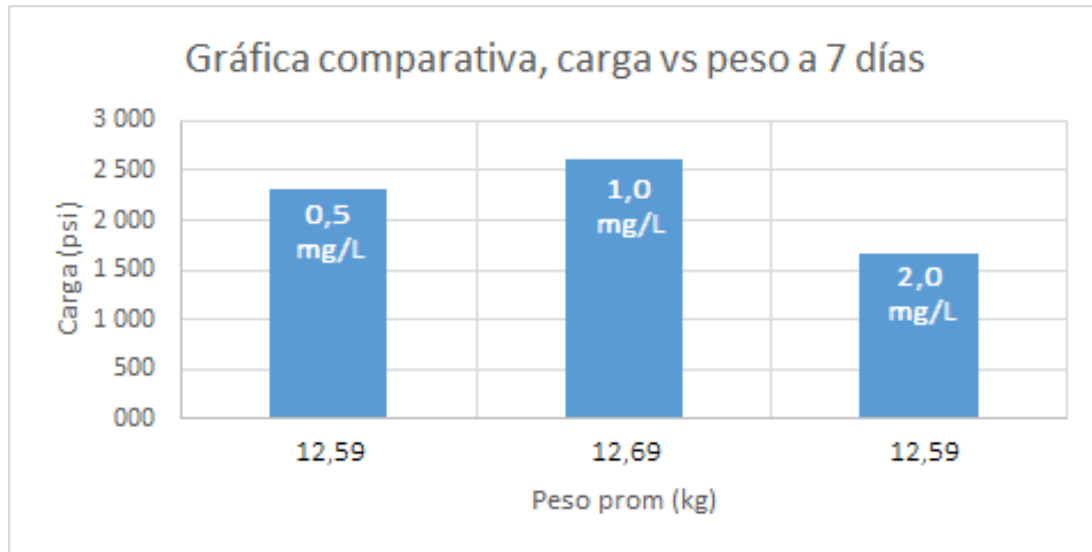
Tabla comparativa peso - resistencia			
Cloro	Edad (días)	Peso (kg)	Esfuerzo a compresión (psi)
0,5 mg/L	7	12,59	2 325
1,0 mg/L		12,69	2 620
2,0 mg/L		12,59	1 670
0,5 mg/L	14	12,46	2 645
1,0 mg/L		12,46	3 120
2,0 mg/L		12,17	2 190
0,5 mg/L	28	12,21	3 380
1,0 mg/L		12,83	3 760
2,0 mg/L		12,52	2 640

Fuente: elaboración propia.

Esta disminución del peso en los cilindros elaborados con 2 mg/L de cloro residual en el agua para la mezcla, puede ser atribuida a la formación de vacíos provocada por la no reactividad que tuvo el cementante en el concreto.

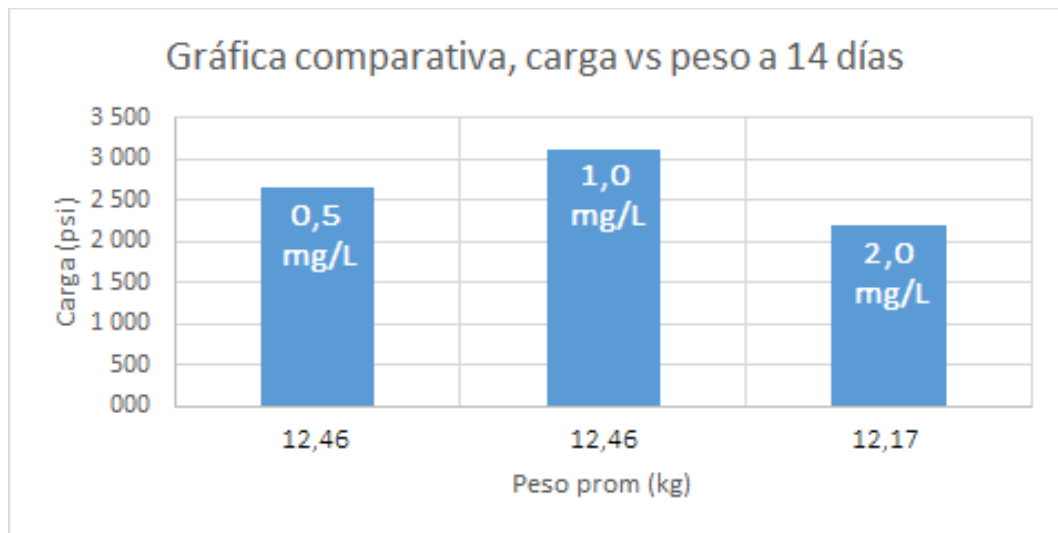
En las siguientes gráficas se hace la comparación de los datos obtenidos de la Tabla XIV, con las cuales se puede tener una mejor apreciación del comportamiento descrito anteriormente:

Figura 18. **Gráfica comparativa de peso y resistencia a los 7 días**



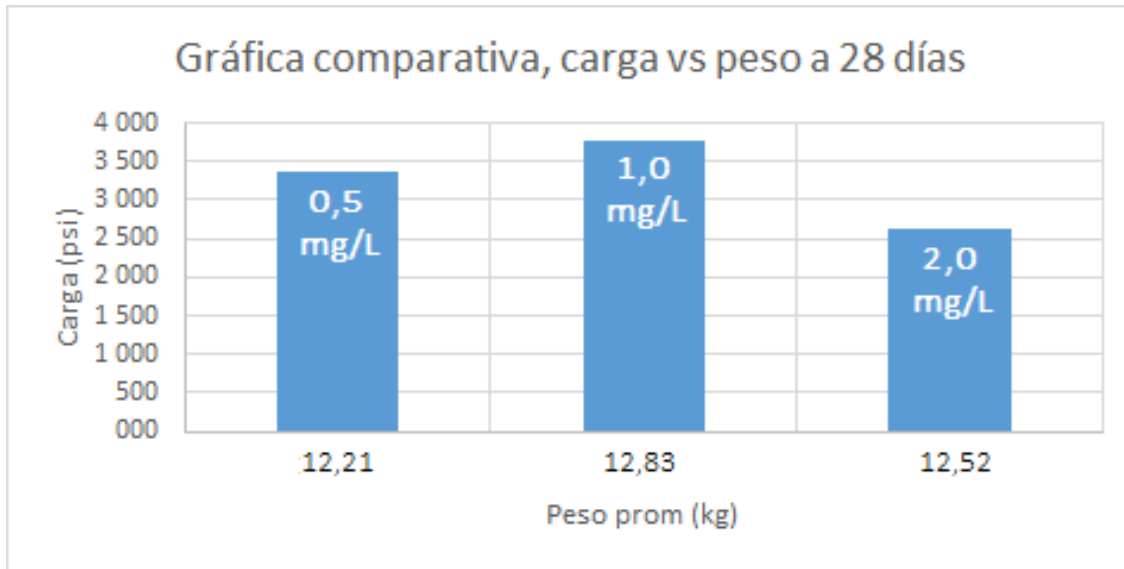
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfica comparativa de peso y resistencia a los 14 días**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Gráfica comparativa de peso y resistencia a los 14 días**



Fuente: elaboración propia.

3.4. Resultados de ensayo de carbonatación del concreto

Después de haber ensayado los cilindros de concreto, a varios fragmentos de estos se les aplicó Fenolftaleína, el cual, al reaccionar en la superficie del concreto, se tornó de un color fucsia, indicando que el concreto, a pesar de contener grandes cantidades de cloro residual, sigue siendo alcalino. La alcalinidad de un material está en función del pH, en el caso del concreto, el pH que se espera que este tenga es de 12, con lo cual, el color fucsia de la Fenolftaleína indica que un material es alcalino.

Figura 21. **Ensayo de carbonatación en concreto**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Resultados de los ensayos a compresión de los cilindros de concreto a los 28 días

Se realizaron cilindros de concreto, los cuales fueron evaluados según los requerimientos de la norma ASTM C-39 (NTG 41017 h1) en las edades de 7, 14 y 28 días. El ensayo consistió en aplicar una carga puntual hasta llevarlos a la falla y su posterior colapso para hacer un análisis del comportamiento mecánico

ante una fuerza a compresión. La carga final registrada es el promedio de dos cilindros evaluados por edad respectiva.

Fueron evaluadas tres tipos de mezcla de concreto, cada una con la misma proporción pero variando las cantidades de cloro residual en su agua para la mezcla.

A continuación se presentan las tablas y las gráficas de los resultados obtenidos en cada evaluación:

Tabla XXI. Comparativa de resistencia a compresión de los cilindros de concreto

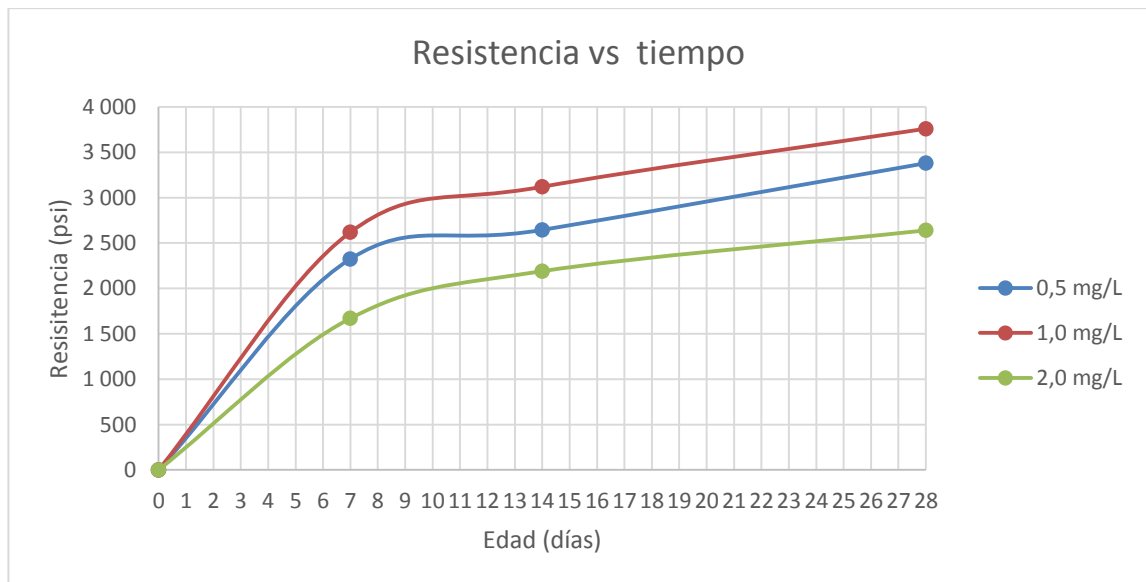
Tabla comparativa de Resistencia a compresión		
COLORO	Edad (días)	Esfuerzo a compresión (psi)
0.5 mg/L	7	2 325
1.0 mg/L		2 620
2.0 mg/L		1 670
0.5 mg/L	14	2 645
1.0 mg/L		3 120
2.0 mg/L		2 190
0.5 mg/L	28	3 380
1.0 mg/L		3 760
2.0 mg/L		2 640

Fuente: elaboración propia.

Normalmente, el agua potable debe contener 0,5 mg/L de cloro residual libre en la salida de la tubería, con lo cual, se tomará como referencia que el comportamiento normal del concreto tradicional será el de los cilindros realizados con agua que contiene dicha cantidad de cloro residual.

Al analizar las cargas últimas de cada cilindro, podemos notar una disminución en la resistencia de los cilindros cuya agua para la mezcla contenía la mayor cantidad de cloro residual (2,0 mg/L); en cambio, los cilindros que fueron realizados con agua que contenía 1,0 mg/L de cloro residual, presentan una aceleración en su tiempo de fraguado.

Figura 22. **Gráfica comparativa de resistencias de las mezclas evaluadas**



Fuente: elaboración propia.

Debido a que el concreto tradicionalmente usado en Guatemala es de base puzolana, la máxima resistencia de diseño puede llegar a tardar más de los 28 días en ser alcanzada, pero dado que el Código ACI 318SUS-14 en el inciso 26.5.3.1 establece que la resistencia promedio de los cilindros evaluados debe cumplir con por lo menos el 85 por ciento de la resistencia en la edad designada, se toma como aceptable el valor obtenido en dichos ensayos.

Los resultados obtenidos de las pruebas de compresión, indican que el concreto elaborado con agua que contenía 2 mg/L de cloro residual, experimentó una disminución del 44 % con respecto a la resistencia de diseño; y el concreto elaborado con agua que contenía 1 mg/L de cloro residual, tuvo un aumento relativo del 11,24 % con respecto al concreto elaborado con agua que contenía una dosis de 0,5 mg/L de cloro residual.

3.6. Comportamiento físico del agregado grueso ante la presencia de cloro

Para poder observar si el agregado grueso sufría algún desgaste o presentaba una reacción con el cloro residual contenido en el agua, se realizó una prueba de abrasión química tomando como base los procedimientos que se establecen en la norma COGUANOR NTG 41010 h6 titulada *Determinación de la estabilidad a la disgregación de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o del sulfato de magnesio*, pero en lugar de los reactivos que menciona la norma, se usó agua con una dosificación de 2 mg/L.

Figura 23. **Muestra de agregado grueso para ensayo de desgaste químico**



Fuente: elaboración propia.

Luego de realizado el procedimiento de ensayo, se registró una pérdida de 0,5 gramos de material (Anexo 4); ésta pérdida de peso es atribuida al desprendimiento de partículas finas que se encontraban en la superficie de los granos de la muestra. Esto se puede concluir debido a que no se observó presencia de fisuras o escamas que provocaran el desprendimiento de partes propias de los granos de agregado grueso.

Figura 24. **Detalle de los granos expuestos a cloro**



Fuente: elaboración propia.

Durante el procedimiento de ensayo, se observó la aparición de un tipo de ligosidad en la superficie de los granos de la muestra ensayada. La aparición de esta anomalía es atribuida a una reacción del cloro con la materia orgánica que la muestra pudiera contener. Además de dicha ligosidad, no se observó ningún otro cambio en las características físicas de la muestra.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Los cilindros de concreto elaborados con 2,0 mg/L de cloro residual en el agua para la mezcla, presentaron una disminución en su resistencia a compresión del 44 %, y los cilindros que tenían 1,0 mg/L tuvieron una aceleración en su endurecimiento de 11,24 %, con respecto a la resistencia a compresión de diseño.
- Cuando el agua para la mezcla contiene 2,0 mg/L de cloro residual, el concreto presenta diferentes cambios físicos, entre ellos está la aparición de eflorescencia, cambio de color y olor a cloro. El concreto que contenía 1,0 mg/L de cloro residual, presentó las mismas anomalías pero en menor cantidad; los cilindros de concreto con 0,5 de cloro residual en su agua para la mezcla, tuvieron un comportamiento normal.
- El proceso de carbonatación en el concreto no se ve afectado por la presencia de cloro, esto se puede ver mediante la medición del pH del concreto, siendo este aún alcalino.
- El hipoclorito de sodio no provocó degradación en el agregado grueso de origen calizo, pero sí se generó una liga en toda la superficie de los granos; a dicha liga se atribuye la reducción en la resistencia de los cilindros con 2,0 mg/L de cloro residual, en su agua para la mezcla.

CONCLUSIONES

1. El desempeño del concreto puede verse afectado en sus características físicas y en su comportamiento a compresión, cuando existe gran cantidad de cloro residual contenida en el agua que se utilice para la mezcla de los elementos que lo compongan. La influencia del cloro residual en gran cantidad presente en el agua para la mezcla, puede derivar en una reducción de la capacidad de resistir esfuerzos a compresión. Esto es importante porque los elementos que se realizan con concreto, buscan resistir principalmente dicho esfuerzo, y de no ser tomado en cuenta, pone en riesgo el desempeño estructural y la seguridad de las edificaciones.
2. La caracterización de los agregados demostró que se utilizaron materiales de calidad; por lo tanto, las anomalías en las características físicas y propiedades mecánicas que se presentaron en los cilindros, son generadas por las variaciones del contenido de cloro residual en su agua para la mezcla.
3. Cuando la cantidad de cloro residual contenida en el agua para la mezcla de concreto es mayor o igual a 2 mg/L, el concreto presenta mayores anomalías, tanto en sus características físicas como en su desempeño mecánico a compresión. La aparición de eflorescencia, olor a cloro en el concreto y cambios de color en la superficie del mismo, son indicativos de alto contenido de cloro residual en el agua para la elaboración de la mezcla.

4. Cuando el agua empleada para la elaboración de la mezcla de concreto contiene una dosis de 2 mg/L de cloro residual, la reducción de la resistencia a compresión es de 44 %, y cuando se aplica 1 mg/L de cloro residual, se obtiene un aumento en la resistencia de 11,24 %. Se debe tomar en cuenta que el hipoclorito de sodio es un elemento oxidante, el cual puede provocar corrosión y oxidación en el refuerzo de acero, en los elementos de concreto armado.
5. Basados en los resultados que se obtuvieron en el ensayo de degradación química al que fue expuesto el agregado grueso de origen calizo, se puede descartar que el hipoclorito de sodio genere un desgaste de las partículas; en cambio, se debe tomar en cuenta la ligosidad que se genera en la superficie de los granos, ya que provoca un conflicto en la reacción del cementante, provocando que este no tenga la adherencia necesaria para su homogenización, lo cual conlleva una reducción en el desempeño a compresión del concreto.
6. La medición de cloro residual contenida en el agua para la mezcla resulta ser fácil si se utiliza el método DPD, ya que es un método de comparación de colores que no complica la lectura de datos; por lo tanto, cualquier persona puede realizarla con relativa sencillez y efectividad.

RECOMENDACIONES

1. Si el agua utilizada para la elaboración de la mezcla de concreto proviene de alguna planta de tratamiento cercana al sitio de construcción, se recomienda realizar la prueba DPD a una muestra de agua para determinar la cantidad de cloro residual que esta contenga.
2. Características físicas como el olor y el sabor del agua pueden evidenciar si ésta contiene cloro residual en gran cantidad, dichas características pueden ser chequeadas de forma empírica por la persona a cargo, bebiendo una muestra de agua, esto no es nocivo para la salud, y a posteriori, de ser necesario, realizar el análisis del contenido de cloro residual para determinar la cantidad contenida en la misma muestra.
3. Tomar en cuenta los cambios de coloración y aparición de eflorescencia en el concreto a lo largo de su tiempo de fraguado, esto puede ser observado en la evolución de los testigos de concreto.
4. El hipoclorito de sodio puede ser utilizado como un aditivo acelerante para el fraguado en el concreto, siempre y cuando este esté contenido como cloro residual en el agua para la mezcla en una dosificación de 1 mg/L como máximo. Se debe tomar en cuenta que este puede causar corrosión en el refuerzo de acero; por tal motivo, queda a criterio de la persona a cargo del proyecto el utilizar el hipoclorito de sodio como acelerante.

5. Si la muestra de agua presenta gran cantidad de cloro residual o el usuario busca eliminarlo o reducirlo, uno de los métodos más sencillos para la eliminación del cloro residual contenido en el agua potable, es la exposición de ésta al ambiente durante un período mínimo de 48 horas, procurando que esta no se contamine con agentes externos como materia orgánica, grasas, solventes u otros elementos.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Proporcionamiento de mezclas. Concreto normal, pesado y masivo*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1993. 289 p.
2. GRAMAJO, Bernardo. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de posos mecánicos en zona 11, Mixco*, Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 183 p.
3. MORALES, Evelyn. *Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 382 p.
4. PÉREZ, Jean Arnold; ESPIGARES, M. *Estudio sanitario del agua. Desinfección del agua*. España: Universidad de Granada, 1995. 173 p.
5. RAMOS Fernando. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 192 p.

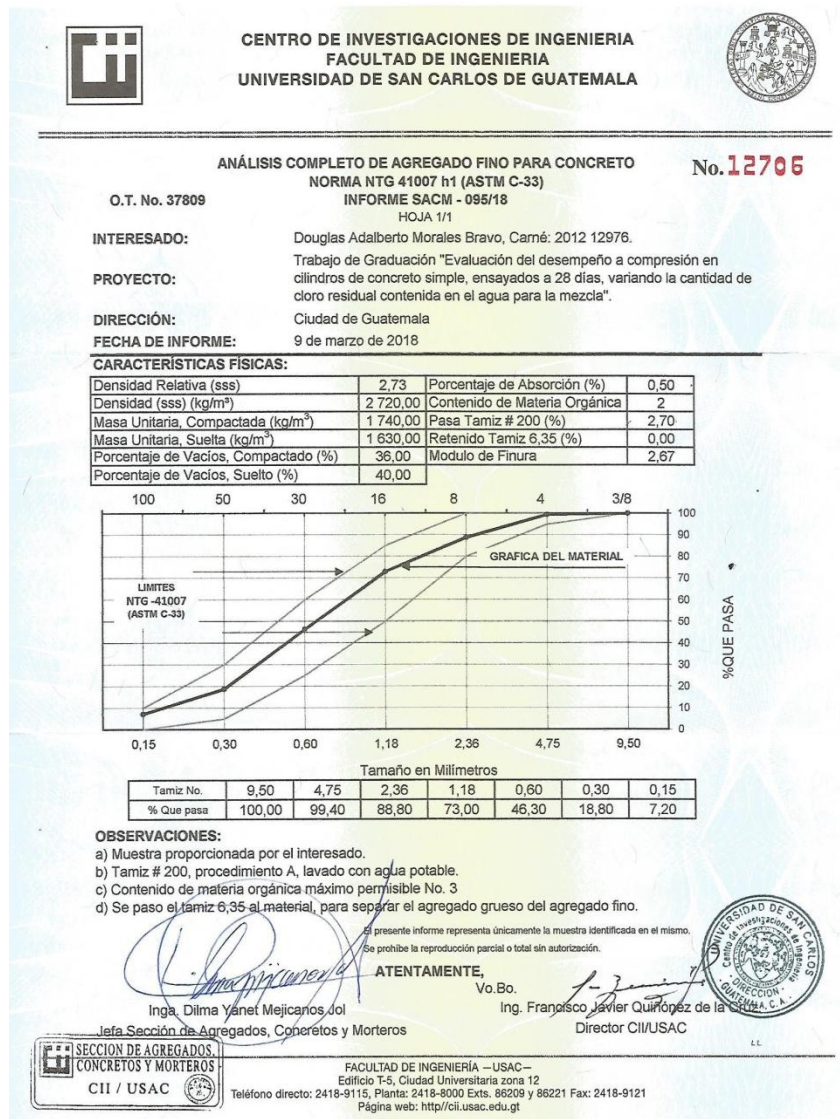
6. REYES, Gabriel. *Evaluación del proceso de filtración de la planta rehabilitada de agua potable Santa Luisa de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 293 p.

7. ROJAS, Arturo; GONZÁLES, Felix; CHIU, Luis; FLORES, Armin. *Elaboración de concretos con aguas tratadas*. [En línea] <<http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>>. [Consulta:16 de junio de 2018].

8. *Tratamiento y desinfección del agua a base de cloro, Manual para técnico*. Cartilla Ambiental, Colombia: Cuidado de la Salud y el Ambiente, 2004. 202 p.


ANEXOS

Anexo 1. Informe de análisis completo de agregado fino




Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 2. Informe de análisis completo de agregado grueso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)
INFORME SACM - 096/18
HOJA 1/1

No. 12707

O.T. No. 37810

INTERESADO: Douglas Adalberto Morales Bravo, Carné: 2012 12976.
Trabajo de Graduación "Evaluación del desempeño a compresión en cilindros de concreto simple, ensayados a 28 días, variando la cantidad de cloro residual contenida en el agua para la mezcla".

PROYECTO: Ciudad de Guatemala

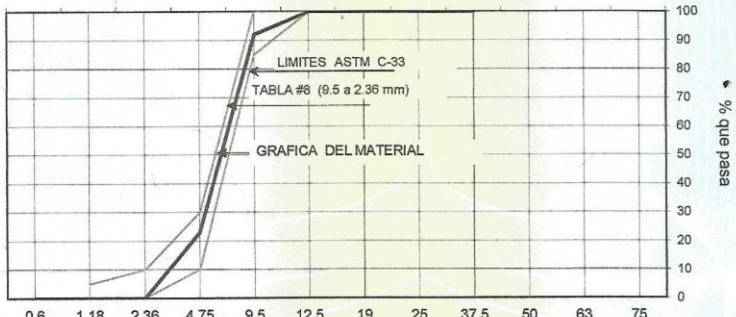
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

FECHA: 9 de marzo de 2018

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,68	Pasa Tamiz # 200 (%)	0,30
Densidad (sss) (kg/m ³)	2 670,00	Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	42,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1 580,00	Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	46,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1 460,00	Modulo de Finura	5,85
Porcentaje de Absorción (%)	1,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	57,20

No.30 No.16 No.8 No.4 3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 2 1/2" 3"



esed emb %

Tamaño en milímetros

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,0	100,00	100,00	100,00	92,00	23,00	0,00	0,00

OBSERVACIONES:


a) Muestra proporcionada por el interesado. El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el presente informe.

b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

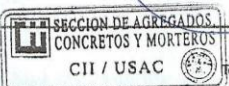
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA — USAC —
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Informe de ensayos de cilindros de concreto a compresión



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 15013 NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

O.T. No. 37808

INFORME SACM - 378/18

HOJA 1/2

INTERESADO: Douglas Adalberto Morales Bravo, Carnet: 2012 - 12976.
Trabajo de graduación "Evaluación del desempeño a compresión en cilindros de concreto simple, ensayados a 28 días, variando la cantidad de cloro residual contenida en el agua para la mezcla".

PROYECTO: Ciudad de Guatemala.

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.

EMISIÓN DE INFORME: 9 de julio de 2018

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²	TIPO DE FRACTURA
1	68-10	17/10/2017	24/10/2017	7	Cloro residual 0,5 mg/L	12,360	15,005	29,603	63 000	15,80	2 290	B
2	69-10	17/10/2017	24/10/2017	7	Cloro residual 0,5 mg/L	12,810	15,200	30,170	66 000	16,20	2 350	B
3	70-10	17/10/2017	31/10/2017	14	Cloro residual 0,5 mg/L	11,955	14,965	29,100	74 000	18,70	2 710	B
4	71-10	17/10/2017	31/10/2017	14	Cloro residual 0,5 mg/L	12,955	15,200	30,467	72 500	17,80	2 580	B
5	94-11	17/10/2017	14/11/2017	28	Cloro residual 0,5 mg/L	12,480	15,055	30,487	94 000	23,50	3 410	B
6	95-11	17/10/2017	14/11/2017	28	Cloro residual 0,5 mg/L	11,930	15,000	29,387	92 000	23,20	3 370	B
2,1	72-10	23/10/2017	30/10/2017	7	Cloro residual 1 mg/L	13,065	15,215	30,430	77 500	19,00	2 760	B
2,2	73-10	23/10/2017	30/10/2017	7	Cloro residual 1 mg/L	12,320	14,995	29,590	68 000	17,10	2 480	B
2,3	96-11	23/10/2017	06/11/2017	14	Cloro residual 1 mg/L	12,390	15,025	29,667	86 000	21,60	3 130	B
2,4	97-11	23/10/2017	06/11/2017	14	Cloro residual 1 mg/L	12,520	14,920	29,983	84 000	21,40	3 110	B
2,5	98-11	23/10/2017	20/11/2017	28	Cloro residual 1 mg/L	12,630	15,095	29,867	106 000	26,30	3 820	B
2,6	99-11	23/10/2017	20/11/2017	28	Cloro residual 1 mg/L	13,020	15,185	30,367	104 000	25,50	3 700	B
3,1	100-11	26/10/2017	02/11/2017	7	Cloro residual 2 mg/L	12,870	15,165	30,400	46 000	11,30	1 640	B
3,2	101-11	26/10/2017	02/11/2017	7	Cloro residual 2 mg/L	12,310	14,990	29,967	46 000	11,60	1 680	B
3,3	102-11	26/10/2017	09/11/2017	14	Cloro residual 2 mg/L	12,430	15,015	29,967	60 000	15,10	2 190	D
3,4	103-11	26/10/2017	09/11/2017	14	Cloro residual 2 mg/L	12,410	14,985	29,300	60 000	15,10	2 190	B
3,5	104-11	26/10/2017	23/11/2017	28	Cloro residual 2 mg/L	12,180	14,970	29,407	67 500	17,10	2 480	B
3,6	105-11	26/10/2017	23/11/2017	28	Cloro residual 2 mg/L	12,860	15,205	30,200	79 000	19,40	2 820	B

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

LL

Continuación el anexo 3.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

No. 15014

O.T. No. 37808

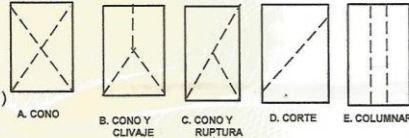
INFORME SACM - 378/18

HOJA 2/2

OBSERVACIONES :

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura 300 000 libras.
- c) Cilindros cabeceados según norma NTG-41067 (ASTM C-1231)
- d) El interesado proporcionó:
 - No. de cilindro en obra.
 - Fecha de colocación.
 - Edad de ensayo.
 - El representativo de estructura.
- e) Solución utilizada: Hipoclorito de sodio diluido en el agua que se utilizó en la mezcla.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



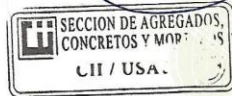
El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 4. Informe de ensayo de degradación del agregado grueso



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

No. 15015

DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DEL
AGREGADO GRUESO MEDIANTE EL USO DE HIPOCLORITO DE SODIO DILUIDO EN AGUA
O.T. No. 38565 INFORME SACM - 379 /18
HOJA 1/1

INTERESADO: Douglas Adalberto Morales Bravo, Carnet: 2012 - 12976.
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Evaluación del desempeño a compresión en cilindros de concreto simple, ensayados a 28 días, variando la cantidad de cloro residual contenida en el agua para la mezcla".
DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala.
EMISIÓN DE INFORME: 9 de julio de 2018

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Peso antes del ensayo	Peso después del ensayo	% de Desgaste	% Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	0,00	-----	-----	-----	-----
3/4" (19.05 mm)	3/8" (9.52 mm)	8,00	-----	-----	0,200	0,016
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	69,00	300,30	299,80	0,200	0,138
	Fondo	23,00	-----	-----	0,200	0,046
TOTALES		100,00	-----	-----	-----	0,200

OBSERVACIONES:

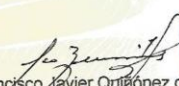
- Muestra proporcionada por el interesado.
- Solución utilizada: 2mg/L de Hipoclorito de sodio diluidos en agua.
- Muestra de material: Agregado triturado de 3/8 in.
- Para la metodología del ensayo se tomo como referencia la norma COGUANOR NTG 41010 h6 (ASTM C-88), "Método de ensayo. Determinación de la estabilidad a la digradación de los agregados mediante el uso del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio".

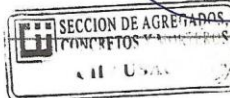
El presente informe representa únicamente para las muestras identificadas en el mismo
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.


Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

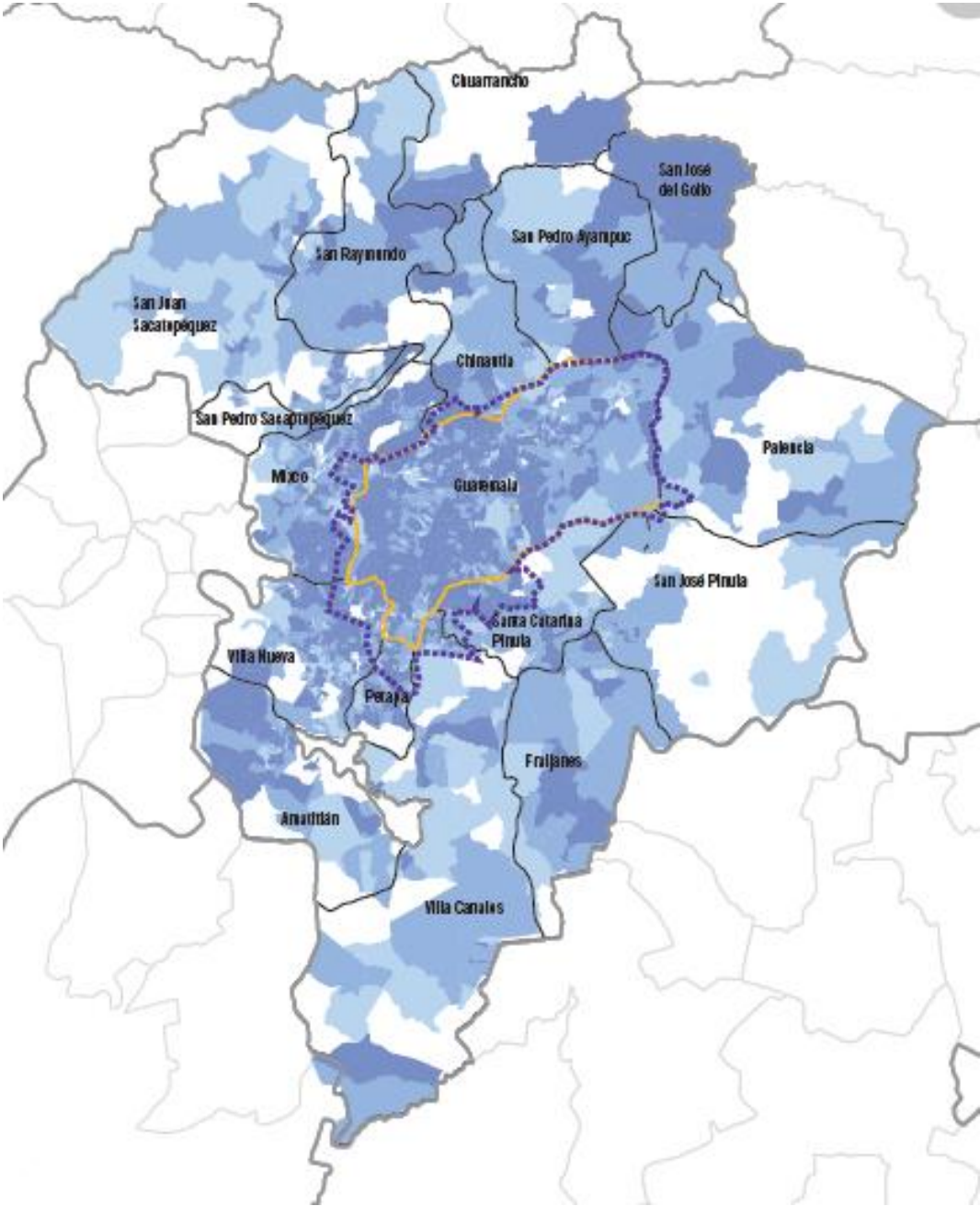

Ing. Francisco Javier Quijón de la Cruz
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

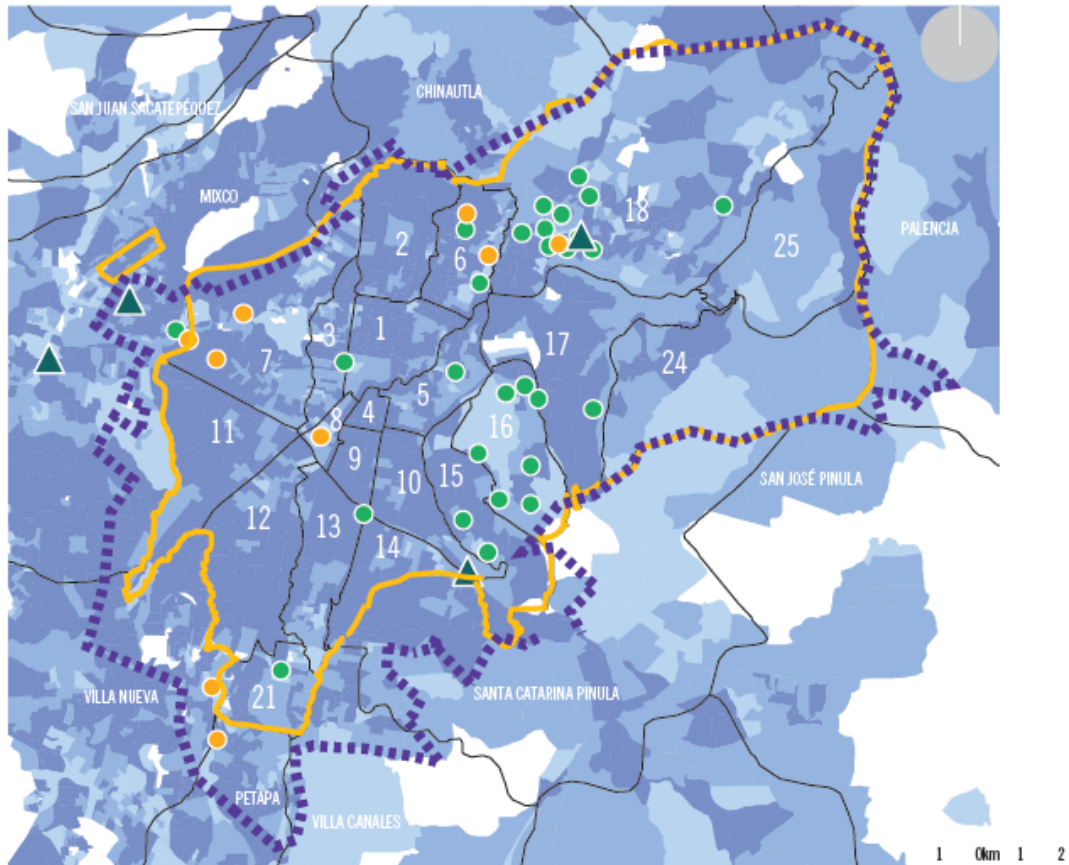
Anexo 5. **Grafico del límite de cobertura de servicio de EMPAGUA**



Fuente: Mapa de Cobertura de Agua Potable, Departamento/Ciudad de Guatemala

Anexo 6. **Gráfico de la infraestructura de EMPAGUA en el Departamento de Guatemala**

Ciudad de Guatemala



NOTAS:

Los mapas expresan el porcentaje hogares con cobertura exclusiva (chorro propio) de agua potable dentro de un sector censal. (Ver rango de "Porcentaje de Cobertura Municipal").

SECTOR CENSAL: Es un conjunto de 200 a 400 viviendas delimitado por el INE según criterios de logística del Censo. Es la unidad mínima territorial que reconoce el Censo de 2002.

Fuente: Mapa de Cobertura de Agua Potable, Departamento/Ciudad de Guatemala

Anexo 7. **Simbología usada para los gráficos del Anexo 5 y Anexo 6**



Fuente: Mapa de Cobertura de Agua Potable, Departamento/Ciudad de Guatemala