

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de
recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de
la ciudad de Chota”**

Tesis para optar el título de Ingeniero Civil

Línea de investigación:

Análisis experimental de estructuras

Autor(es):

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Asesor:

Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León

**Chota – Perú
2026**



Colpa Matara, 25 de junio del 2026.

C.O. N° 13-2026-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE IA

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN POR INTEMPERIZACIÓN SEGÚN ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE LAS COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO EN LAS VIVIENDAS DELA CIUDAD DE CHOTA”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 5% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras, no teniendo un porcentaje de escritura con inteligencia artificial; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.


Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Director de la unidad de
investigación FCI-UNACH

Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Camp...

ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN POR INTEMPERIZACIÓN SEGÚN ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE LAS COLUMNAS DE...

 Informe Final de Tesis

 UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2026

 Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3601458908

Fecha de entrega

25 jun 2026, 9:13 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

25 jun 2026, 9:31 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

8_INFORME_FINAL_DE_TESIS_Campos_Campos_25.05.26_TNT.pdf

Tamaño del archivo

5.2 MB

131 páginas

39.253 palabras

192.078 caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	1%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
3	Internet	materiales-ramonson.blogspot.com	<1%
4	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
7	Internet	www.imt.mx	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
9	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
10	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
11	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%

12	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion	<1%
15	Internet	espacioimasd.unach.mx	<1%
16	Internet	hdl.handle.net	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
18	Internet	www.mdpi.com	<1%
19	Internet	idus.us.es	<1%
20	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
21	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
22	Internet	repositorio.upch.edu.pe	<1%
23	Internet	www.civil.ist.utl.pt	<1%
24	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
25	Internet	titula.universidadeuropea.com	<1%

26	Internet	www.coursehero.com	<1%
27	Internet	www.tdx.cat	<1%
28	Internet	www.paginasamarillas.com	<1%
29	Trabajos del estudiante	CAS Colombo American School S.A.S	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Andrés Bello	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo	<1%
32	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
33	Internet	www.slideshare.net	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
35	Trabajos del estudiante	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	<1%
36	Internet	structurae.net	<1%
37	Internet	www.ayto-villacanada.es	<1%
38	Trabajos del estudiante	Costa Rica Institute of Technology	<1%
39	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote	<1%

40	Trabajos del estudiante	Universidad Politécnica del Perú	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%
42	Publicación	Zhiyou, Jia. "Betão Leve com Resíduos de Fundição", Universidade do Minho (Port...	<1%
43	Internet	cientec.or.cr	<1%
44	Internet	glifos.upana.edu.gt	<1%
45	Internet	idoc.tips	<1%
46	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
47	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
48	Internet	revistas.tec.ac.cr	<1%
49	Internet	www.scielo.cl	<1%
50	Internet	www2.mdpi.com	<1%
51	Trabajos del estudiante	Escuela Superior Politécnica del Litoral	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica del Peru	<1%
53	Internet	conpat.alconpat.org	<1%

54	Internet	dspace-uh-tmp.igniteonline.la	<1%
55	Internet	eprints.ucm.es	<1%
56	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
57	Internet	repositorio.unican.es	<1%
58	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
59	Internet	www.edificacion.upm.es	<1%
60	Publicación	Francisco Locati, Belén Raggiotti, Juan Murra, Silvina Marfil. "In-service 80-year-ol...	<1%
61	Publicación	Patricia Marisol Miranda Escudero, Jhonny Mauricio Coronel-Sánchez. "Cost of ca...	<1%
62	Internet	alconpat.org	<1%
63	Internet	cdigital.dgb.uanl.mx	<1%
64	Internet	docplayer.es	<1%
65	Internet	minhaji.net	<1%
66	Internet	pdffox.com	<1%
67	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%

68	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
69	Internet	revistaalconpat.org	<1%
70	Internet	revistes.uab.cat	<1%



Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 05:00 p.m. del día miércoles 05 de agosto, reunidos en la sala de Incuba del local administrativo- UNACH, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: : **Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz**, denominada: “**Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota**”; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobada

CON EL CALIFICATIVO (*)

14 (Catorce)

En consecuencia, se le declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 05 de agosto del 2026.

Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez
PRESIDENTE

Mg. Miguel Angel Silva Tarrillo
SECRETARIO

Dr. Luis Fernando Romero Chuquilin
VOCAL

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: **"Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota"** presentado por los bachilleres **Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz**, sustentada el día 05 de agosto, según Resolución de Decanato N°004-2026-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota 18 de agosto de 2026.

Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez
PRESIDENTE

Mg. Miguel Angel Silva Tarrillo
SECRETARIO

Dr. Luis Fernando Romero Chuquilin
VOCAL

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

**ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN POR
INTEMPERIZACIÓN SEGÚN ESPESOR DE
RECUBRIMIENTO DE LAS COLUMNAS DE CONCRETO
ARMADO EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CHOTA**

POR:

YONY YOVER CAMPOS MUÑOZ

RONALD ROBERTH CAMPOS MUÑOZ

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título de
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez

PRESIDENTE



Dr. Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo

SECRETARIO



Dr. Ing. Luis Fernando Romero Chuquilín

VOCAL

DEDICATORIA

A Dios, por guiarnos en cada paso de este camino, por darnos fortaleza en los momentos de dificultad y sabiduría para culminar este proyecto que hoy ponemos en sus manos.

A nuestros padres, por su amor incondicional, sacrificio y ejemplo de perseverancia; gracias por enseñarnos a valorar el esfuerzo y nunca rendirnos ante los desafíos.

A nuestros hermanos, con quienes compartimos no solo la vida sino también esta meta académica; su compañía, motivación y apoyo constante nos impulsaron a seguir avanzando.

Y a nuestros amigos, quienes nos brindaron ánimo, comprensión y palabras de aliento cuando más lo necesitábamos. A todos ustedes dedicamos este logro con gratitud profunda.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación y acompañarnos con su protección y claridad en cada etapa del proceso.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestro asesor, Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León, por su guía, orientación técnica y dedicación en el desarrollo de esta tesis. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para alcanzar los objetivos planteados.

A los propietarios de las viviendas que gentilmente permitieron el acceso a sus edificaciones para la realización de los ensayos, gracias por su disposición y confianza en nuestro trabajo.

Nuestro reconocimiento a los técnicos del Laboratorio de Mecánica de Materiales de la EPIC-UNACH, así como a los técnicos del Laboratorio de Agua y Suelo de la EPIFA-UNACH, por facilitarnos sus instalaciones y brindar apoyo profesional durante los ensayos y el análisis del pH del concreto.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de esta meta académica. Cada gesto de apoyo, consejo y acompañamiento formó parte esencial de este logro que hoy celebramos con gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Justificación.....	19
1.3. Formulación del problema.....	20
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes	21
2.1.1. Antecedentes internacionales	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.1.3. Antecedentes regionales.....	26
2.2. Bases teóricas	27
2.2.1. Ley de Difusión de Fick aplicada a la penetración de CO ₂ en el concreto	27
2.2.2. Carbonatación	28
2.2.3. Factores para que se presente la carbonatación.....	34
2.2.4. Influencia de la exposición a la intemperización en la carbonatación del concreto	36
2.2.5. Influencia de la carbonatación en la resistencia a la compresión del concreto.....	37
2.2.6. Influencia del espesor de recubrimiento en la carbonatación del concreto.....	37
2.2.7. Eficiencia del recubrimiento como protección frente a carbonatación.....	38
2.2.8. Recomendaciones técnicas sobre el espesor mínimo de recubrimiento.....	38
2.3. Definiciones conceptuales	39
2.3.1. Concreto armado	39
2.3.2. Columnas de concreto armado	39
2.3.3. Espesor del recubrimiento del concreto	39

2.3.4. Espesor del recubrimiento de columnas de concreto armado	40
2.3.5. Resistencia a compresión del concreto armado por pruebas no destructivas.....	40
2.3.6. Intemperización.....	41
2.3.7. Carbonatación en el concreto armado	43
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	45
3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación	45
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis.....	47
3.2.1. Ubicación	47
3.2.2. Población.....	48
3.2.3. Muestreo.....	48
3.2.4. Muestra.....	49
3.2.5. Unidad de análisis	49
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	51
3.3.1. Técnicas de recolección de datos	51
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos	51
3.4. Hipótesis	53
3.5. Operacionalización de variables	53
3.5.1. Variable independiente: Espesor de recubrimiento de las columnas	53
3.5.2. Variable dependiente: Carbonatación por intemperización	53
3.5.3. Matriz de operacionalización de variables	54
3.6. Procedimientos de recolección de datos	55
3.6.1. Selección e inspección visual de las viviendas de estudio.....	55
3.6.2. Encuesta a los propietarios de las viviendas	56
3.6.3. Determinación de la columna de análisis por proceso aleatorio	57
3.6.4. Verificación y registro del espesor de recubrimiento	58
3.6.5. Registro de las condiciones climáticas del entorno (CO ₂ , temperatura y humedad) ...	59
3.6.6. Análisis de carbonatación en columnas	60
3.6.7. Resistencia a compresión en columnas de concreto con esclerómetro	64
3.6.8. Análisis de pH en laboratorio del polvo de concreto	66
3.7. Procedimientos de análisis de datos.....	67
3.7.1. Procesamiento de datos	67

3.7.2. Análisis de datos	67
3.8. Material y equipos (descripción del uso)	68
3.9. Aspectos éticos	69
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	71
4.1. Descripción de resultados	71
4.1.1. Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según espesor de recubrimiento	71
4.1.2. Efecto de la carbonatación en la resistencia a compresión del concreto.....	81
4.1.3. Influencia de las condiciones ambientales en la carbonatación del concreto	94
4.1.4. Influencia de los factores propios de la edificación en la carbonatación de las columnas de concreto armado	109
4.2. Contrastación de hipótesis.....	120
4.3. Discusión.....	126
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
5.1. Conclusiones.....	131
5.2. Recomendaciones.....	134
REFERENCIAS.....	135
ANEXOS.....	145
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	145
Anexo 2. Panel fotográfico	146
Anexo 3. Inspección de viviendas con las características idóneas para el estudio en la ciudad de Chota	158
Anexo 4. Cuestionario a los propietarios de las viviendas	164
Anexo 5. Cuestionario a los propietarios de las viviendas	167
Anexo 6. Registro de parámetros ambientales.....	168
Anexo 7. Resultados de los ensayos in situ (Carbonatación y esclerometría) y en laboratorio (pH del concreto)	169
Anexo 8. Planos	265

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Proceso de carbonatación en relación con la humedad relativa	41
Tabla 2	Tipo de investigación según los principales criterios	45
Tabla 3	Criterios de inclusión y exclusión	49
Tabla 4	Ubicación de las viviendas de estudio	50
Tabla 5	Matriz de operacionalización de variables	54
Tabla 6	Interpretación de la profundidad de carbonatación	61
Tabla 7	Grado de carbonatación según el color	61
Tabla 8	Índice de riesgo de carbonatación	62
Tabla 9	Categorías para la interpretación de la correlación de Spearman	68
Tabla 10	Materiales y equipos utilizados en la recolección y análisis de datos	69
Tabla 11	Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según vivienda	72
Tabla 12	Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según espesor de recubrimiento	75
Tabla 13	Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según categoría del pH	79
Tabla 14	pH del concreto en el área carbonatada y no carbonatada de acuerdo con la profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización	80
Tabla 15	Coeficientes de correlación de la resistencia a compresión y la carbonatación en columnas de concreto armado	82
Tabla 16	Resistencia a compresión del concreto en las columnas de las viviendas	83
Tabla 17	Resistencia a compresión del concreto en las columnas según antigüedad de las viviendas	85
Tabla 18	Resistencia a compresión del concreto de acuerdo con la profundidad de recubrimiento de las columnas	87
Tabla 19	Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado de acuerdo con la resistencia a compresión del concreto	89
Tabla 20	Profundidad de carbonatación y resistencia a la compresión del concreto en columnas	91
Tabla 21	Coeficientes de correlación de los parámetros ambientales (Temperatura, humedad y CO ₂) y la carbonatación en columnas de concreto armado	95
Tabla 22	Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por vivienda	96
Tabla 23	Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por sectores	98
Tabla 24	Estado de la vivienda y su relación con los parámetros ambientales	99
Tabla 25	Temperatura y carbonatación en columnas de concreto armado	100

Tabla 26	Humedad y carbonatación en columnas de concreto armado	103
Tabla 27	Concentración de CO ₂ y carbonatación en columnas de concreto armado.....	106
Tabla 28	Coeficientes de correlación de los factores propios de la edificación y la carbonatación en columnas de concreto armado.....	110
Tabla 29	Características generales de las viviendas que formaron parte del estudio.....	112
Tabla 30	Uso de la edificación y carbonatación	113
Tabla 31	Estado de la edificación y carbonatación	114
Tabla 32	Ubicación de la columna analizada y carbonatación	115
Tabla 33	Punto de análisis en la columna y carbonatación.....	115
Tabla 34	Antigüedad de la edificación y carbonatación	116
Tabla 35	Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y profundidad de carbonatación.....	122
Tabla 36	Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y porcentaje de carbonatación	122
Tabla 37	Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y velocidad de carbonatación.....	122
Tabla 38	Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y años para que la carbonatación afecte al espesor de recubrimiento no carbonatado.....	123
Tabla 39	Base de datos para el análisis de correlación de Spearman.....	124
Tabla 40	Coeficientes de correlación de Spearman	125
Tabla 41	Valores sig. Bilateral para los coeficientes de correlación de Spearman.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Probeta sometida a la prueba de fenolftaleína	32
Figura 2	Detección de la carbonatación por análisis de imágenes.....	33
Figura 3	Detalle de la ubicación del recubrimiento	40
Figura 4	Elementos constituyentes de la celda de corrosión	42
Figura 5	Proceso de carbonatación del concreto con acero de refuerzo	43
Figura 6	Avance de la profundidad del frente de carbonatación en columnas	44
Figura 7	Diseño de Investigación	46
Figura 8	Ubicación de la ciudad de Chota	47
Figura 9	Ubicación de las viviendas de estudio en la ciudad de Chota	50
Figura 10	Inspección y registro visual de las viviendas seleccionadas para el estudio de carbonatación	55
Figura 11	Datos recopilados del cuestionario aplicado a los propietarios	56
Figura 12	Diagrama que representa la ubicación de columnas en una vivienda	57
Figura 13	Representación isométrica del espesor de recubrimiento en una columna.....	58
Figura 14	Medidor ambiental portátil NDIR modelo OEM 2024 utilizado en el registro de CO ₂ , temperatura y humedad.....	59
Figura 15	Ubicación de perforaciones en columnas de concreto armado para carbonatación	60
Figura 16	Ensayo de carbonatación en probetas extraídas de columnas de concreto armado	62
Figura 17	Aplicación del indicador de fenolftaleína en perforaciones de columnas para determinar la profundidad de carbonatación.....	63
Figura 18	Vista del diagrama de zona para el ensayo de esclerometría.....	64
Figura 19	Ábaco de acuerdo al sentido de aplicación de la carga en el ensayo de esclerometría.....	65
Figura 20	Ejecución del ensayo de esclerometría en columnas de concreto armado	65
Figura 21	Procedimiento para la obtención y análisis del pH del polvo de concreto extraído de las columnas	66
Figura 22	Profundidad de recubrimiento y carbonatación en columnas de viviendas en Chota	72
Figura 23	Velocidad de carbonatación del concreto en columnas de viviendas en Chota.....	73
Figura 24	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	73
Figura 25	Índice de riesgo de carbonatación en las viviendas en Chota.....	73
Figura 26	Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y la profundidad de carbonatación (cm).....	75
Figura 27	Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y el índice de carbonatación	76

Figura 28	Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y la velocidad de carbonatación.....	76
Figura 29	Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y el tiempo que la carbonatación tardará en alcanzar a la armadura	77
Figura 30	Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y el pH carbonatado	77
Figura 31	pH del concreto en el área carbonatada y no carbonatada de acuerdo con la profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización.....	79
Figura 32	Promedio de resistencia a compresión gráfica por vivienda	84
Figura 33	Promedio de resistencia a compresión corregida por vivienda	84
Figura 34	Promedio de resistencia a compresión gráfica vs. antigüedad de la edificación	86
Figura 35	Promedio de resistencia a compresión corregida vs. antigüedad de la edificación	86
Figura 36	Resistencia a compresión gráfica vs. profundidad de recubrimiento	88
Figura 37	Resistencia a compresión corregida vs. profundidad de recubrimiento	88
Figura 38	Promedio de resistencia a compresión gráfica vs. profundidad de carbonatación	92
Figura 39	Resistencia a compresión corregida vs. profundidad de carbonatación	92
Figura 40	Promedio de resistencia a compresión gráfica vs. línea de $f'c$ esperado (210 kg/cm^2)	93
Figura 41	Resistencia a compresión corregida vs. línea de $f'c$ esperado (210 kg/cm^2)	93
Figura 42	Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por vivienda	97
Figura 43	Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por sectores	98
Figura 44	Profundidad de carbonatación vs. Temperatura	101
Figura 45	Índice de riesgo de carbonatación vs. Temperatura	101
Figura 46	Velocidad de carbonatación vs. Temperatura.....	102
Figura 47	Años para que la carbonatación alcance la armadura vs. Temperatura	102
Figura 48	Profundidad de carbonatación vs. humedad relativa	104
Figura 49	Índice de riesgo de carbonatación vs. humedad relativa	104
Figura 50	Velocidad de carbonatación vs. humedad relativa	105
Figura 51	Años para que la carbonatación alcance la armadura (recubrimiento no carbonatado) vs. humedad.....	105
Figura 52	Profundidad de carbonatación vs concentración de CO_2	107
Figura 53	Índice de riesgo de carbonatación vs concentración de CO_2	107
Figura 54	Velocidad de carbonatación vs concentración de CO_2	108
Figura 55	Años para que la carbonatación alcance la armadura vs CO_2	108
Figura 56	Profundidad de carbonatación vs Antigüedad	117
Figura 57	Índice de riesgo de carbonatación vs Antigüedad	118
Figura 58	Velocidad de carbonatación vs Antigüedad	118
Figura 59	Años para que la carbonatación alcance la armadura según recubrimiento no carbonatado	119

Figura 60 pH de la muestra carbonatada vs Antigüedad	119
Figura 61 Prueba de normalidad de la profundidad de carbonatación.....	121

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CO ₂	Dióxido de carbono
EL	Espesor lateral
f _c	Resistencia a compresión esperada en el concreto
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IPEN	Instituto Peruano de Energía Nuclear
IR	Índice de riesgo
k	Velocidad de carbonatación
Mi	Muestra de concreto de la zona carbonatada
Mii	Muestra de concreto de la zona no carbonatada
MINEDU	Ministerio de Educación
MGRAC	Concretos elaborados con áridos reciclados
MPCH	Municipalidad Provincial de Chota
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
pH	Potencial de hidrógeno
PRFC	Láminas de polímero reforzado con fibra de carbono
R	Profundidad de recubrimiento
r	Coeficiente de relación de Spearman
R ²	Valor de relación en el análisis de regresión
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Tiempo_recub	Años para que la carbonatación afecte todo el recubrimiento
Tiempo_NC	Años para que se afecte el área no carbonatada
Ub.	Ubicación
UTM	Universal Transversal de Mercator
V	Vivienda
xc/ dc	Profundidad de carbonatación
Δ	Diferencia entre la profundidad de recubrimiento y carbonatación

RESUMEN

La carbonatación del concreto armado es un mecanismo de deterioro en edificaciones expuestas a intemperización, especialmente cuando el espesor de recubrimiento no garantiza la protección de la armadura. En la ciudad de Chota, donde gran parte de las viviendas presentan columnas descubiertas en azoteas, este fenómeno puede comprometer la resistencia del concreto. El objetivo de la investigación fue analizar la carbonatación por intemperización en relación con el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en viviendas de la zona urbana de Chota. El estudio adoptó enfoque cuantitativo, de tipo básico, con diseño no experimental. Se evaluaron 16 viviendas seleccionadas mediante muestreo probabilístico, realizando mediciones de recubrimiento, ensayos de fenolftaleína, esclerometría, análisis de pH y registro de condiciones ambientales (CO_2 , temperatura y humedad). Los resultados demostraron que la profundidad promedio de carbonatación fue 2.15 cm, equivalente al 74.21% del recubrimiento, con velocidades medias de 0.68 cm/año, identificándose condiciones críticas en recubrimientos ≤ 2.70 cm. Asimismo, la resistencia corregida del concreto mostró reducción significativa en columnas con mayor carbonatación, alcanzando valores mínimos de 101.43 kg/cm². El CO_2 ambiental fue el factor externo más influyente ($r = 0.980$), mientras que la antigüedad de la edificación presentó la mayor asociación interna con el deterioro ($r = 0.974$). La prueba de Kruskal–Wallis confirmó que el espesor de recubrimiento influye en el nivel de carbonatación significativamente ($p = 0.000$). Se concluye que los recubrimientos reducidos aceleran el avance del frente carbonatado y disminuyen la vida útil del concreto, lo que demanda estrategias de protección y mantenimiento en viviendas expuestas en Chota.

Palabras clave: Recubrimiento, intemperización, resistencia a compresión, dióxido de carbono, profundidad de carbonatación.

ABSTRACT

Carbonation in reinforced concrete is a deterioration mechanism affecting structures exposed to weathering, particularly when the concrete cover thickness does not provide adequate protection for the reinforcement. In the city of Chota, where many residential buildings have exposed rooftop columns, this phenomenon can compromise the concrete's compressive strength. The objective of this research was to analyze weather-induced carbonation in relation to the concrete cover thickness of reinforced concrete columns in urban housing in Chota. The study employed a quantitative, basic approach with a non-experimental design. Sixteen dwellings selected through probabilistic sampling were evaluated, including measurements of concrete cover, phenolphthalein tests, Schmidt hammer testing, pH analysis, and recording of environmental conditions (CO_2 , temperature, and humidity). The results showed that the average carbonation depth was 2.15 cm, equivalent to 74.21% of the concrete cover, with an average carbonation rate of 0.68 cm/ $\sqrt{\text{year}}$, identifying critical conditions in cover thicknesses ≤ 2.70 cm. Likewise, the corrected compressive strength of the concrete exhibited a significant reduction in columns with greater carbonation, reaching minimum values of 101.43 kg/cm². Ambient CO_2 was the most influential external factor ($r = 0.980$), while building age showed the strongest internal association with deterioration ($r = 0.974$). The Kruskal–Wallis test confirmed that cover thickness significantly affects carbonation levels ($p = 0.000$). It is concluded that reduced cover thickness accelerates the progression of the carbonation front and decreases the service life of the concrete, highlighting the need for protective and maintenance strategies in exposed residential structures in Chota.

Keywords: Concrete cover, weathering, compressive strength, carbon dioxide, carbonation depth.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El concreto armado continúa siendo el material estructural predominante para edificaciones e infraestructuras (Watari et al., 2022). La durabilidad de este material depende en gran medida de la estabilidad química que brinda el ambiente altamente alcalino del concreto a través del recubrimiento (capa de concreto que cubre las armaduras), el cual mantiene a la armadura de acero previniendo la corrosión. Pero, dicha protección puede perderse por la carbonatación del concreto o por la penetración de cloruros, procesos que reducen el pH y propician el inicio de la corrosión (Hu et al., 2022). De acuerdo con Oliveira et al. (2022) la carbonatación y el ingreso de cloruros son los mecanismos más comunes de deterioro del concreto, esto debido a que, tal como explica Revert et al. (2018) el pH del concreto se reduce por debajo de 7, lo que vuelve inestable a la película pasiva del refuerzo. La corrosión resultante afecta negativamente la resistencia de la barra de refuerzo (acero) y puede inducir fisuración temprana del concreto, aun con profundidades mínimas de corrosión (Rinaldi et al., 2022). Así, Parrott y Killoh (1989) demostraron incluso la presencia de corrosión en el acero antes de que el frente de carbonatación alcanzará directamente a la armadura, evidenciando la complejidad del fenómeno y su impacto en la vida útil de las estructuras.

En el país la exposición del concreto armado a ambientes con dióxido de carbono, humedad y variaciones térmicas presenta un desafío significativo para la capacidad mecánica de las edificaciones, especialmente cuando los elementos estructurales no cuentan con recubrimiento adecuado. La interacción entre humedad, porosidad del concreto, viento, erosión superficial y exposición continua al CO₂ acelera el avance de la carbonatación (Zhang et al., 2022). La norma E.060 del *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento* (MVCS, 2009) recomienda un recubrimiento

mínimo de 40 mm para vigas y columnas de concreto armado, criterio indispensable para retardar la carbonatación y proteger la armadura (Hu et al., 2022). Si las armaduras están correctamente recubiertas, no estarán expuestas a la humedad ni la erosión y se reducirá el riesgo de carbonatación (Saura-Gómez et al., 2022). Sin embargo, la adecuada implementación del recubrimiento sigue siendo un aspecto crítico en la construcción convencional del país.

La región Cajamarca presenta características climatológicas que incrementan el riesgo de deterioro del concreto armado. Se trata de una zona altoandina con clima frío y marcada estacionalidad de lluvias, donde los materiales se ven afectados por humedad, vientos fuertes, lluvias intensas y exposición prolongada al aire libre, condiciones que generan erosión y pérdida progresiva de recubrimiento (Palma, 2023). En el ámbito regional, las recurrentes precipitaciones pluviales señaladas por Giráldez et al. (2022) y los procesos de erosión descritos por Xu (2022) favorecen el avance de la carbonatación del concreto, especialmente en edificaciones que permanecen inconclusas o presentan deficiencias en el acabado de sus elementos estructurales, como aquellas viviendas con azoteas no cubiertas.

En la ciudad de Chota, de acuerdo con la *Municipalidad Provincial de Chota* (MPCH, 2018) el 85% de las viviendas han sido construidas con concreto armado, esto de acuerdo con el *Instituto Nacional de Estadística e Informática* (INEI, 2018) equivale a 3 038 viviendas de concreto armado. No obstante, una inspección visual en distintos sectores evidencia que un número considerable de viviendas mantiene columnas expuestas en las azoteas, debido a la práctica común de dejar estructuras preparadas para futuras ampliaciones¹. Estas columnas, al estar directamente sometidas a la lluvia,

¹ Visita técnica para identificar y observar, desde la vía pública, las viviendas que presentan columnas expuestas en azotea (ver Anexo).

la humedad, el viento, la radiación solar y el aire ambiente, se encuentran en condiciones propicias para desarrollar carbonatación, especialmente cuando el recubrimiento de concreto no se ha ejecutado adecuadamente o presenta erosión superficial. Tal exposición incrementa la susceptibilidad al ingreso de CO₂ y humedad, lo que acelera la pérdida de alcalinidad del concreto y favorece el avance del frente de carbonatación.

De igual forma, distintos factores locales pueden intensificar el deterioro, como la porosidad del concreto empleado; la falta de impermeabilización; la utilización de mezclas de baja calidad; el curado deficiente y la falta de mantenimiento, facilitando el ingreso de procesos agresivos. Burga (2022) menciona que, en Chota, la construcción se desarrolla en la informalidad: si bien hay planos estructurales, la asistencia técnica es limitada y, por ello, de acuerdo con Torres-Torres et al. (2024) muchas recomendaciones normativas como la de espesor de recubrimiento de vigas y columnas no se cumplen de forma estricta. Esta situación propicia la posibilidad de que muchas columnas expuestas puedan haber desarrollado procesos de carbonatación que comprometen la pasivación de sus armaduras, disminuyen la resistencia mecánica del concreto, y, por tanto, aumentan la posibilidad de corrosión del acero y falla estructural.

A pesar de la presencia de columnas expuestas en las azoteas de las viviendas de la ciudad de Chota, no existe una evaluación técnica de la carbonatación del concreto en relación con el espesor de recubrimiento usado en estas edificaciones. Se desconoce si el recubrimiento presente en las columnas es suficiente para garantizar la vida útil en condiciones de intemperización, y tampoco se ha determinado el nivel real de avance de la carbonatación. Por ello, resulta necesario analizar la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento en las columnas de concreto armado

de viviendas de Chota, con el fin de comprender el comportamiento del material bajo estas condiciones y aportar criterios que permitan prevenir el deterioro estructural.

1.2. Justificación

La investigación se justifica porque aporta evidencia técnica sobre el comportamiento de la carbonatación por intemperización en columnas de concreto armado expuestas en viviendas de la ciudad de Chota, considerando el espesor de recubrimiento como elemento de protección frente al ingreso de dióxido de carbono. El estudio permite comprender cómo la reducción del recubrimiento favorece el avance del frente carbonatado, la pérdida de alcalinidad del concreto y el riesgo de despasivación del acero de refuerzo. De esta manera, la investigación contribuye al conocimiento sobre la durabilidad del concreto armado en edificaciones expuestas a condiciones ambientales locales, como la humedad, la temperatura, la concentración de CO_2 , la lluvia y la exposición directa en azoteas.

Asimismo, la investigación es pertinente porque en la ciudad de Chota existen viviendas de concreto armado con columnas expuestas a la intemperie, muchas de ellas construidas sin un control técnico riguroso del recubrimiento. Sin embargo, no se cuenta con información local que permita conocer el nivel real de carbonatación ni su relación con la protección del acero de refuerzo. Por ello, los resultados favorecen a propietarios, profesionales de ingeniería civil, municipalidades y futuros investigadores, ya que proporcionan criterios para identificar condiciones críticas, proponer medidas de mantenimiento preventivo, orientar inspecciones técnicas y promover prácticas constructivas más seguras que contribuyan a prolongar la vida útil de las viviendas.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo se relaciona la carbonatación por intemperización con el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota, y cuál es su efecto en la resistencia a compresión del concreto expuesto?

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Analizar la carbonatación por intemperización en relación con el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la tasa y profundidad de carbonatación en las columnas de concreto armado expuestas a la intemperización según espesor de recubrimiento en las viviendas de la ciudad de Chota.
- Evaluar el efecto de la carbonatación en la resistencia a compresión del concreto de las columnas en función del espesor de recubrimiento.
- Analizar la influencia de las condiciones ambientales exteriores (humedad relativa, temperatura y concentración de dióxido de carbono) en la carbonatación del concreto según el espesor de recubrimiento.
- Identificar los factores propios de la edificación (antigüedad, número de pisos y uso) que influyen en la carbonatación de las columnas de acuerdo con el espesor de recubrimiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En Indonesia, Hasan et al. (2025) en su investigación “*Carbonation Depth, Corrosion Assessment, Repairing, and Strengthening of 49-Year-Old Marine Reinforced Concrete Structures*” tuvieron como objetivo determinar la profundidad de carbonatación, corrosión y reforzar las estructuras marinas de concreto armado de 49 años de antigüedad. La metodología incluyó observaciones visuales, ensayos no destructivos, además de la extracción de núcleos cilíndricos para medir la resistencia a compresión y la profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado de 80 x 80 cm y 5 m de altura. Determinaron que la profundidad de carbonatación varió entre 0% y 63% del espesor de recubrimiento (4 cm) en vigas y losas, y de 0% a 52% del recubrimiento en columnas. La resistencia del concreto fue buena y la corrosión potencial fue baja a media en zonas sin deterioro crítico; sin embargo, confirmaron corrosión severa y localizada en secciones con carbonatación mayor a 50%, con reducciones del diámetro del refuerzo y desprendimiento de recubrimiento. Concluyeron que la carbonatación y la corrosión disminuyeron la capacidad resistente y recomendaron un sistema de intervención basado en resina epóxica con inhibidor, mortero cementoso polimérico con microsilíce, y refuerzo con barras y láminas de polímero reforzado con fibra de carbono (PRFC), técnica aplicable a estructuras con deterioro similar.

En Reino Unido, Dadd et al. (2025) en su artículo científico “*Characterisation of shrinkage, carbonation and chloride penetration in multi-generation recycled aggregate concrete at equivalent compressive strengths*” tuvieron como objetivo caracterizar la carbonatación, la contracción y la penetración de cloruros en concretos

elaborados con áridos reciclados (MGRAC) manteniendo resistencias a compresión equivalentes. La metodología consistió en evaluar 45 mezclas de concreto durante un año de exposición natural, midiendo contracción total, profundidad de carbonatación y penetración de cloruros y comparando la vida útil predicha para distintas profundidades de recubrimiento. Determinaron que, la carbonatación para el concreto con agregados naturales y antigüedad de 20, 40, 60 y 80 años tiene profundidades de 2, 3, 4 y 4.5 cm, respectivamente, mientras que para el concreto con agregado reciclado presenta 3, 4.5, 5.5 y 6.5 cm, respectivamente, además, la carbonatación se ve fuertemente influenciada por la relación agua-cemento y por la porosidad asociadas al reciclaje. Concluyeron que la resistencia del concreto disminuye con la carbonatación y que, para lograr una vida útil comparable en ambientes marinos, se requeriría aumentar el recubrimiento mínimo a 70 mm en lugar de los 45 mm establecidos para concreto convencional.

En Asia, Hossain et al. (2024) en su investigación “*Study on carbonation of low strength concrete made of brick aggregate*” tuvieron como objetivo analizar la carbonatación del concreto de baja resistencia elaborado con agregados de ladrillo en Dhaka. La metodología consistió en la extracción de 84 núcleos de concreto con diámetros de 67 mm y 50 mm de elementos estructurales pertenecientes a cuatro edificaciones de concreto armado con edades comprendidas entre 17 y 73 años, para la determinación de profundidad de carbonatación mediante solución de fenolftaleína. Determinaron que la profundidad de carbonatación aumenta de manera proporcional con la edad del concreto y que las estructuras con resistencias inferiores a 25 MPa presentan mayor vulnerabilidad, evidenciando una relación inversa entre la calidad del concreto y la tasa de carbonatación. La profundidad de carbonatación fue menor a 4 cm en el edificio de 17 y 20 años, menor a 6 cm en el edificio de 26 años y menor a 12 cm en el edificio de 73 años, con tasa de carbonatación de 11.47 mm/ $\sqrt{\text{año}}$. El coeficiente

de correlación entre la tasa de carbonatación y la resistencia del concreto fue 0.6662. Concluyeron que, en condiciones ambientales adversas y recubrimientos deficientes, el concreto de baja resistencia es altamente susceptible a la carbonatación, recomendando emplear concreto de mayor resistencia en nuevas construcciones.

En Estados Unidos, Lau et al. (2024) en su artículo científico “*Carbonation-Induced Corrosion Assessment for Reinforced Concrete Structures*” tuvieron como objetivo evaluar la corrosión inducida por carbonatación en estructuras de concreto armado. La metodología incluyó dos conjuntos de ensayos: (a) pruebas a gran escala en columnas de concreto sometidas a carga y (b) ensayos a pequeña escala para determinar el efecto de distintas condiciones de humedad, materiales y relaciones agua-cemento en la penetración de la carbonatación, empleando cámaras de carbonatación acelerada con casi 100% de CO₂ a 20 psi durante hasta 1 mes. Determinaron que las muestras mantenidas en condiciones húmedas no desarrollaron carbonatación significativa debido a la lenta difusión del CO₂, mientras que las muestras secas presentaron carbonatación en 67 horas, y las acondicionadas a 75% de humedad relativa mostraron carbonatación notable, asimismo, la velocidad de corrosión en el concreto carbonatado osciló entre 0.2 y 0.8 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Concluyeron que la propagación de la corrosión por carbonatación depende fuertemente del estado higroscópico del concreto.

En India, Dudi y Bishnoi (2024) en su investigación “*Assessment of carbonation and corrosion in a 50-year-old reinforced concrete building*” tuvieron como objetivo evaluar la carbonatación y la corrosión en un edificio de concreto armado con 50 años de antigüedad ubicado en una zona climática compuesta. La metodología incluyó la comparación entre carbonatación natural a largo plazo y carbonatación acelerada a corto plazo. Determinaron que la carbonatación acelerada con 3% de CO₂ reproduce de manera representativa las modificaciones observadas en el concreto naturalmente

carbonatado, aunque induce un mayor grado de carbonatación del gel C-S-H con concentraciones de CO₂ superiores a 400 ppm. Concluyeron que la humedad es el factor predominante en la propagación de la corrosión y que, la carbonatación influye en la resistencia a compresión del concreto de acuerdo con las pruebas no destructivas.

En Cuba, Iraola et al. (2023) su artículo científico *“Solución a las patologías por carbonatación en los bloques habitacionales del “Hotel Colonial Cayo Coco””* tuvieron como objetivo analizar la carbonatación en elementos de concreto armado mediante pruebas con fenolftaleína. Determinaron profundidades asociadas a pH entre 4.30 y 10.40, evidenciando que el 80% de los elementos presentaron carbonatación con corrosión en etapa 3. Concluyeron que el concreto carbonatado predominó en la mayoría de lesiones y que la exposición ambiental aceleró la corrosión del acero.

En Colombia, Zambrano (2023) en su tesis *“Patología Colegio Juan Bosco, Tibacuy, Cundinamarca”* tuvo como objetivo analizar las patologías estructurales del colegio mediante inspección y ensayo de fenolftaleína. Determinó carbonatación total en edificios C y B (hasta 2 cm), y un frente de carbonatación de 3 cm en el edificio D, además del incumplimiento de recubrimientos de la NSR-10 (menor a 4 cm) y presencia de corrosión. Concluyó que las edificaciones analizadas presentan riesgo estructural asociado a carbonatación y corrosión.

En España, Saura et al. (2023) en su artículo científico *“Carbonation-Induced Corrosion of Reinforced Concrete Elements according to Their Positions in the Buildings”* tuvieron como objetivo evaluar la corrosión inducida por carbonatación según la posición estructural de columnas y vigas. La metodología incluyó la inspección de 20 edificios en Alicante y Murcia, clasificando elementos en siete tipos de exposición. Determinaron que los elementos expuestos a lluvia (tipo E) y los ubicados en cámaras de aire bajo losas sanitarias (tipo F) presentaron una carbonatación más

acelerada que la prevista por modelos normativos, mientras que los elementos interiores (tipo G) mostraron menor tasa. Concluyeron que en todos los casos se evidenció corrosión inducida por carbonatación.

En España, Saura-Gómez et al. (2022) en su artículo científico “*The Useful Life of Reinforced Concrete Structures with Reinforcement Corrosion Due to Carbonation in Non-Aggressive and Normal Exposures in the Spanish Mediterranean*” tuvieron como objetivo evaluar la vida útil de estructuras con corrosión inducida por carbonatación en ambientes normales y no agresivos del Mediterráneo español. Analizaron 17 pilares de 10 edificios con edades entre 9 y 44 años y recubrimientos mínimos de 20 mm. Determinaron que 14 pilares presentaron profundas carbonataciones superiores a las previstas por el modelo teórico (> 20 mm, 100% de carbonatación). Concluyeron que los elementos en contacto con el suelo presentan corrosión acelerada que reduce significativamente la vida útil respecto a la normativa.

En México, Pérez et al. (2020) en su artículo “*Inspección por corrosión y estructural de un elemento de concreto reforzado interno, que atraviesa el embovedado de San Roque en el cadenamiento 0+145, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*” tuvieron como objetivo evaluar el estado de corrosión y la carbonatación mediante inspección visual, mediciones electroquímicas (ASTM C876-91) y pruebas químicas con fenolftaleína. La metodología incluyó la determinación in situ del frente carbonatado y la medición del recubrimiento. Determinaron una profundidad promedio de carbonatación de 2 cm, suficiente para alcanzar el acero principal, así como recubrimientos deficientes entre 1 y 5 cm, incluso con aberturas de 10–15 cm y armaduras expuestas. Concluyeron que estos daños fueron consecuencia de la falta de control de calidad y la ausencia de supervisión durante la construcción, y que el recubrimiento se relaciona inversamente con la carbonatación en columnas de concreto armado.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En Cusco, Rojas (2022) en su tesis “*Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad Quillabamba-Cusco 2021*” tuvo como objetivo comparar la resistencia a compresión de testigos de concreto expuestos a carbonatación acelerada. La metodología utilizada consistió en someter especímenes de concreto ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) a concentración de 40 000 ppm de CO_2 en una cámara hermética, empleando aguas de mezclado con distintos niveles de pH obtenidos en tres sectores de Quillabamba. Determinó que la variación del pH del agua influye en la alcalinidad del concreto y en la resistencia a la compresión bajo carbonatación acelerada obteniendo 234.09, 166.36 y 111.66 kg/cm^2 ante periodos de exposición de 30 días, con profundidades de carbonatación de 4.61, 6.78 y 8.80 mm, respectivamente. Concluyó que un mayor avance de carbonatación reduce la resistencia del material.

2.1.3. Antecedentes regionales

En Cajamarca, Altamirano (2024) en su tesis “*Influencia de las dimensiones de la sección del elemento de concreto en la profundidad de Carbonatación*” tuvo como objetivo determinar la relación entre las dimensiones de la sección de los elementos y la carbonatación del concreto. La metodología de enfoque cuantitativo tuvo como muestra a 75 elementos de concreto. Determinó que, la concentración de CO_2 en el ambiente era 399 ppm, con humedad relativa de 62.33%, mientras que en la cámara la carbonatación el CO_2 era 4897.93 ppm, a humedad relativa de 68.29% y temperatura de 16.57 °C, obteniendo profundidades de carbonatación de 1.78, 1.79, 1.83, 1.4, 1.86, 1.86, 1.91 y 1.96 mm para elementos de 5, 10, 15, 20, 30, 35 y 40 cm de arista. Concluyó que elementos de menor sección tienen incremento del 9.52% de la profundidad de carbonatación en secciones cubicas y del 4.22% en secciones prismáticas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ley de Difusión de Fick aplicada a la penetración de CO₂ en el concreto

La Ley de Difusión de Fick describe el transporte de especies gaseosas, como el dióxido de carbono (CO₂), a través de medios porosos como el concreto. Formulada por Adolf Fick en 1855, esta ley establece que el flujo difusivo es proporcional al gradiente de concentración (Busquets, 2009).

$$j = -D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Donde: J es el flujo difusivo de la especie química, expresado en mol/(m²·s); D es el coeficiente de difusión del concreto, en m²/s; C es la concentración de la especie difundida, en este caso CO₂, expresada en mol/m³ o kg/m³, según el sistema de unidades empleado; y x es la distancia de penetración en la dirección del flujo, expresada en m.

Linares-Alemparte et al. (2019) demostraron experimentalmente que el coeficiente de difusión depende del tipo de cemento y la porosidad del concreto; Monteiro et al. (2012) utilizaron la ecuación de Fick para predecir la penetración del CO₂ bajo diferentes condiciones ambientales; y Jin et al. (2018) evidenciaron que ciertos aditivos reducen la penetración de CO₂ al disminuir el coeficiente de difusión. Confirmando que la Ley de Fick comprende y modela la carbonatación, lo que permite estimar su avance y su tasa en función del tiempo y de las propiedades del material.

$$x_c = k\sqrt{t} \quad (2)$$

$$k = \frac{x_c}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

$$\text{Años para que la carbonatación alcance a la armadura} = \left(\frac{R}{k} \right)^2 \quad (4)$$

Donde x_c es la profundidad de carbonatación en cm o mm; k es la velocidad o coeficiente de carbonatación en cm/√año o mm/√año; t es el tiempo en años; y R es el recubrimiento en cm o mm.

2.2.2. Carbonatación

La carbonatación es un proceso natural que ocurre mediante una reacción química. En sí misma no constituye una patología, pero sus efectos sí pueden considerarse patológicos, ya que reducen la resistencia del concreto (Alshaeer et al., 2022). Es un proceso físico-químico complejo que modifica lentamente la estructura del concreto con el tiempo, induciendo cambios en sus propiedades físicas. Por lo general, el fenómeno avanza del exterior al interior de la masa de concreto del elemento; ahí tienen mucho que ver el tiempo y la profundidad de la afectación. La carbonatación penetra a través de los poros del concreto hasta alcanzar y despasivar el acero de refuerzo. Este momento es conocido por los especialistas como el Avance del frente de carbonatación (Vidaud y Vidaud, 2012).

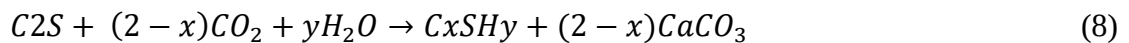
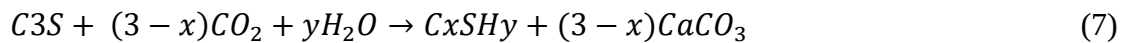
2.2.2.1. Tipos de carbonatación.

La carbonatación por meteorización, también llamada carbonatación natural o pasiva, es un proceso lento que ocurre en el concreto maduro cuando el CO₂ atmosférico penetra progresivamente en su interior y reacciona con el hidróxido de calcio formando carbonato de calcio (Seifan et al., 2016). Este tipo de carbonatación se desarrolla a lo largo de toda la vida útil de la estructura y está asociada al deterioro del concreto, ya que reduce su pH, desestabiliza la capa pasiva del acero y puede provocar contracción, fisuras y corrosión del refuerzo (Kaliyavaradhan y Ling, 2017). Su velocidad depende de factores internos, como la porosidad, la relación a/c y el grado de saturación, y de factores externos, como la temperatura, la humedad y la concentración de CO₂ (El-Hassan, 2013).



Nota. Las ecuaciones representan las reacciones de carbonatación del concreto. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ corresponde al hidróxido de calcio o portlandita; CO_2 , al dióxido de carbono; CaCO_3 , al carbonato de calcio; H_2O , al agua; CSH , al gel silicato cálcico hidratado; y SiO_2 , al dióxido de silicio. Al tratarse de ecuaciones químicas, las relaciones se interpretan en términos de proporciones molares.

La carbonatación activa, también llamada carbonatación acelerada, es un proceso controlado que se aplica al concreto recién colado, en el que altas concentraciones de CO_2 inducen reacciones rápidas con los compuestos anhidros del cemento (C_2S y C_3S), produciendo carbonato de calcio y mejorando la resistencia inicial, la dureza superficial y la durabilidad del material (De Belie, 2016). A diferencia de la carbonatación pasiva, esta forma es beneficiosa: puede usarse como alternativa al curado con vapor y resulta especialmente adecuada para elementos sin refuerzo, como bloques o adoquines (Alshaeer et al., 2022).



Nota. Las ecuaciones representan la carbonatación de los silicatos cálcicos del cemento. C_3S corresponde al silicato tricálcico; C_2S , al silicato dicálcico; CO_2 , al dióxido de carbono; H_2O , al agua; C_xSH_y , al gel silicato cálcico hidratado con composición variable; y CaCO_3 , al carbonato de calcio. Los coeficientes x e y son adimensionales y representan proporciones estequiométricas que varían según la composición del producto hidratado.

2.2.2.2. Proceso de formación de la carbonatación.

La carbonatación del concreto ocurre cuando el CO_2 atmosférico ingresa a los poros del material y reacciona con el hidróxido de calcio presente, formando carbonato de calcio (CaCO_3) y agua (Parameswaran et al., 2008). Este proceso genera una ligera

contracción en la matriz cementicia y constituye el principal mecanismo mediante el cual disminuye la alcalinidad del concreto (Zhao et al., 2018). En presencia de humedad, el CO₂ se disuelve y forma ácido carbónico, lo que reduce el pH del concreto (Alshalif et al., 2017). El incremento del CO₂ de 280 ppm en la época preindustrial a más de 380 ppm en la actualidad intensifica este fenómeno (Mors y Jonkers, 2019), lo que acelera la pérdida de alcalinidad, normalmente comprendida entre pH 12.5 y 13.5 en un concreto sano (Chahal et al., 2011). Cuando el pH desciende por debajo de 9, la capa pasiva del acero se destruye y se inicia la corrosión (Chi et al., 2002).

Durante el proceso, el carbonato de calcio se deposita en la red de poros, refinando la microestructura de la capa carbonatada (Alshaeer et al., 2022). La velocidad de carbonatación aumenta especialmente cuando la humedad relativa se encuentra entre 50–70% (Liisma et al., 2017), ya que se favorece la formación de ácido carbónico y su interacción con los hidróxidos alcalinos. Este proceso puede representarse mediante las siguientes ecuaciones fundamentales:



Nota. Las ecuaciones describen la formación de ácido carbónico y las reacciones asociadas a la pérdida o transformación de la alcalinidad del concreto durante la carbonatación. CO₂ corresponde al dióxido de carbono; H₂O, al agua; H₂CO₃, al ácido carbónico; NaOH, al hidróxido de sodio; Na₂CO₃, al carbonato de sodio; Ca(OH)₂, al hidróxido de calcio; CaCO₃, al carbonato de calcio; K₂CO₃, al carbonato de potasio; y KOH, al hidróxido de potasio. Las relaciones expresadas en las ecuaciones corresponden a proporciones molares.

La carbonatación continúa reduciendo el pH a medida que avanza en profundidad, lo que aumenta la vulnerabilidad del refuerzo a la corrosión y genera fisuras por expansión y pérdida de cohesión (Ghahari et al., 2016). Además, CO_2 elevado puede transformar CaCO_3 insoluble en bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), un compuesto soluble que puede lixiviar y alterar la porosidad del concreto hidratado (Boualleg et al., 2017; Balam et al., 2017). Este mecanismo explica por qué la carbonatación solo progresa cuando coexisten CO_2 , oxígeno y un nivel moderado de humedad; en condiciones completamente secas no se forma ácido carbónico y, en condiciones saturadas, se bloquea la difusión de CO_2 (Wang et al., 2017).

2.2.2.3.Indicios de la carbonatación.

Los indicios de carbonatación en el concreto incluyen cambios de color hacia tonos más claros o zonas descoloridas en la superficie, debido a la presencia de carbonato de calcio, lo que constituye uno de los signos más visibles del fenómeno. También pueden aparecer descascaramientos o desprendimientos de la capa superficial por las tensiones internas generadas, así como corrosión del acero de refuerzo tras la pérdida de alcalinidad y ruptura de la capa pasiva (Rumi et al., 2017).

2.2.2.4.Métodos cualitativos y cuantitativos para determinar la carbonatación.

a) Estimación del grado de carbonatación basada en el indicador de pH.

La carbonatación reduce la alcalinidad del concreto y destruye la película pasiva que protege el acero; por ende, el pH disminuye. El procedimiento consiste en aplicar una solución indicadora sobre una superficie recién rota del concreto, recomendándose una solución de fenolftaleína al 1% en alcohol etílico al 70% (CPC-18, 1988). En concreto fresco el pH supera 12, mientras que en concreto carbonatado puede descender hasta valores cercanos a 7, dependiendo del grado de deterioro (Bui et al., 2023).

b) Indicador de fenolftaleína.

Según el *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto* (IMCYC, 2012) el indicador de fenolftaleína constituye una prueba cualitativa ampliamente utilizada para estimar la profundidad del frente de carbonatación. La solución al 1% adquiere un tono rosa intenso cuando el pH del concreto es superior al límite de 9.5, mientras que las zonas carbonatadas permanecen incoloras, permitiendo visualizar claramente el avance del proceso. Aunque es un método útil, puede complementarse con microscopía óptica o electrónica, capaz de identificar cristales de calcita y detectar la ausencia de hidróxido de calcio, lo que aumenta la precisión en la determinación de la profundidad carbonatada.

Figura 1

Probeta sometida a la prueba de fenolftaleína



Nota. (IMCYC, 2012).

c) Análisis de imagen.

Esta técnica identifica la distribución heterogénea del frente carbonatado, afectada por la presencia de agregados gruesos y las condiciones de exposición acelerada o natural (Bui et al., 2023).

Figura 2

Detección de la carbonatación por análisis de imágenes



Nota. Serie de imágenes de la detección del frente de carbonatación observada en la muestra sin refuerzo (izquierda) y con refuerzo (derecha) después de la aplicación de la solución durante períodos de exposición de diez semanas (arriba) y veinte semanas (abajo) (Revert et al., 2018).

2.2.2.5. Consecuencias de la carbonatación.

La carbonatación es un proceso natural del concreto que, al reaccionar el CO_2 con los compuestos alcalinos del cemento, reduce el pH y provoca la despasivación del acero, lo que da lugar a su corrosión. Este deterioro se manifiesta mediante fisuras y desprendimientos generados por la expansión del carbonato cálcico, así como por la disminución de las propiedades mecánicas del concreto, lo que reduce su capacidad mecánica. Además, la carbonatación altera la apariencia del material mediante cambios de color y pérdida de uniformidad superficial. Mientras que en concretos no armados puede incluso incrementar la dureza superficial, en elementos reforzados representa un riesgo significativo para la integridad estructural, por lo que su control requiere prácticas adecuadas de diseño, protección y mantenimiento (Rumi et al., 2017).

2.2.3. Factores para que se presente la carbonatación

La carbonatación del concreto armado es un fenómeno complejo, influido por múltiples factores (Lv et al., 2022).

2.2.3.1. Contenido de humedad del concreto.

Una alta humedad relativa favorece la formación y la circulación de CO_2 en el ambiente, lo que aumenta la probabilidad de que este gas reaccione con el concreto. Según el *Instituto Peruano de Energía Nuclear* (IPEN, 2017) la carbonatación avanza más rápidamente cuando la humedad relativa se encuentra entre 50% y 55%, mientras que valores por debajo de ese rango limitan la disolución del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y valores superiores al 75% saturan los poros, reduciendo la difusión del CO_2 . La humedad puede originarse por capilaridad, filtración o condensación (Rumi et al., 2017), condiciones que favorecen la disponibilidad de agua y, por tanto, la progresión de la carbonatación.

2.2.3.2. Cobertura de concreto y defectos de superficie.

El espesor de recubrimiento influye en la protección del acero, ya que una menor cobertura permite un acceso más rápido del CO_2 al refuerzo. Defectos superficiales, como grietas, poros, huecos o agregados expuestos, facilitan rutas preferenciales de penetración, lo que permite que la carbonatación alcance el acero incluso en concretos de alta calidad. El IPEN (2017) advierte que las pérdidas de recubrimiento de hasta 12 mm y las esquinas mal compactadas incrementan la vulnerabilidad a la corrosión en poco tiempo.

2.2.3.3. El pH del concreto.

El concreto fresco presenta un pH entre 12 y 13, lo que favorece la formación de la capa pasiva que protege el acero de refuerzo (IPEN, 2017). Sin embargo, a medida que avanza la carbonatación y el pH desciende por debajo de 9.5, la capa pasiva pierde estabilidad y se inicia la corrosión.

2.2.3.4.Permeabilidad del concreto.

La permeabilidad controla la velocidad a la que el CO₂ difunde a través del concreto; por lo tanto, los concretos permeables se carbonatan más rápidamente. Concretos densos y bien compactados atenúan la velocidad de corrosión, aunque la pérdida de alcalinidad en las capas superficiales es inevitable (Vidaud y Vidaud, 2012).

2.2.3.5.El fisuramiento y la dilatación/contracción del concreto.

El fisuramiento permite la entrada directa de humedad y CO₂, acelerando la carbonatación (IPEN, 2017). Las fisuras pueden originarse por contracción durante la hidratación o por dilatación y contracción térmica asociadas a cambios ambientales. Si las tensiones asociadas a estos procesos superan la resistencia del concreto, se generan grietas que aumentan la permeabilidad y favorecen la progresión del frente carbonatado.

2.2.3.6.Contaminantes atmosféricos y termoclastia.

Los contaminantes atmosféricos, como los óxidos de nitrógeno y azufre, aceleran la carbonatación al reaccionar con los compuestos básicos del concreto y favorecer la formación de carbonatos y sulfatos (IPEN, 2017). La humedad y la radiación solar también contribuyen a la termoclastia, generando ciclos de expansión y contracción que deterioran la superficie del concreto y favorecen la entrada de CO₂.

2.2.3.7.Duración de la exposición al aire.

El tiempo de exposición del concreto al aire determina la acumulación de CO₂ disponible para reaccionar con la matriz cementicia. A mayor duración, mayor profundidad de carbonatación, especialmente cuando el concreto permanece desprotegido en ambientes donde los ciclos de humedad favorecen la reacción química (Saura-Gómez et al., 2022).

2.2.4. *Influencia de la exposición a la intemperización en la carbonatación del concreto*

La intemperización puede tener un impacto significativo en la carbonatación del concreto. La carbonatación es un proceso químico en el que el dióxido de carbono del aire reacciona con los componentes alcalinos del concreto, formando carbonato de calcio y reduciendo el pH de la pasta de concreto. Esta reacción puede acelerarse por la humedad y las altas temperaturas, factores que suelen estar presentes en ambientes expuestos a la intemperie.

Según el estudio realizado por, Zhang y Shao (2016), la exposición a la intemperización puede aumentar la tasa de carbonatación del concreto. En su investigación, analizaron la influencia de distintas condiciones ambientales sobre la carbonatación y determinaron que la exposición al aire libre incrementaba la penetración de dióxido de carbono en el concreto y aceleraba el proceso de carbonatación. Estos resultados concuerdan con estudios posteriores realizados por Zhang et al. (2020) quienes también encontraron una relación directa entre la exposición a la intemperización y la carbonatación del concreto.

En otro estudio realizado por Roy et al. (1999), se investigó la influencia de la intemperización sobre la carbonatación del concreto armado. Encontraron que la carbonatación ocurre más rápido en la superficie expuesta del concreto debido a la mayor concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Además, observaron que la velocidad de carbonatación del concreto expuesto fue mayor en ambientes húmedos que en ambientes secos. Estos hallazgos muestran cómo la exposición a la intemperización y las condiciones ambientales pueden interactuar para influir en el proceso de carbonatación del concreto.

2.2.5. *Influencia de la carbonatación en la resistencia a la compresión del concreto*

La carbonatación influye en la resistencia a la compresión del concreto porque modifica su química interna al reaccionar el CO_2 atmosférico con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para formar CaCO_3 , lo que altera el pH y reduce la alcalinidad del material (Hussain et al., 2022). Este descenso del pH afecta la estabilidad de los productos de hidratación y puede comprometer la integridad del gel C-S-H, lo que disminuye la capacidad mecánica del concreto. La velocidad de carbonatación depende de la concentración de CO_2 , la humedad relativa, la temperatura y la porosidad, por lo que los concretos densos y con recubrimientos adecuados ralentizan este fenómeno (Shen et al., 2023). Por tanto, la carbonatación puede debilitar el concreto al reducir su alcalinidad y afectar su hidratación, lo que hace indispensable considerar este proceso en el diseño, mantenimiento y evaluación de las estructuras (Lv et al., 2022).

2.2.6. *Influencia del espesor de recubrimiento en la carbonatación del concreto*

El espesor de recubrimiento es una barrera física que regula la penetración del CO_2 hacia las armaduras, por lo que su magnitud influye en la velocidad y la profundidad de la carbonatación. Según Paul et al. (2018), la carbonatación reduce la durabilidad del concreto al consumir los componentes alcalinos del material; Ho y Harrison (1990) destacan que el recubrimiento actúa como la primera línea de defensa contra este deterioro. Rao y Meena (2017) encontraron que mayores espesores de recubrimiento reducen el porcentaje de carbonatación, mientras que Li et al. (2017) observaron que incrementos en el espesor del recubrimiento disminuyen la velocidad de avance del frente carbonatado. Asimismo, Park (2008) señaló que la efectividad del recubrimiento depende del ambiente de exposición, por lo que se requieren mayores espesores en condiciones agresivas, como la alta humedad. Por tanto, el espesor de recubrimiento limita la carbonatación y prolonga la vida útil del concreto.

2.2.7. Eficiencia del recubrimiento como protección frente a carbonatación

La eficiencia del recubrimiento en la protección contra la carbonatación depende tanto de su espesor como de las condiciones ambientales y la calidad del concreto. De Andrade (2021) demostró que aumentar el espesor del recubrimiento reduce significativamente la difusión de CO₂ hacia el interior del concreto, lo que mejora la protección del acero. No obstante, D'Andrea (2010) evidenció que esta eficiencia también está condicionada por factores como la porosidad, la humedad relativa y el tipo de exposición, pudiendo ser suficiente un recubrimiento delgado en ambientes moderados y requiriéndose espesores mayores en zonas altamente agresivas.

2.2.8. Recomendaciones técnicas sobre el espesor mínimo de recubrimiento

El espesor mínimo de recubrimiento es esencial para garantizar la durabilidad del concreto frente a la carbonatación, ya que este proceso reduce la alcalinidad del material y puede desencadenar la corrosión del acero de refuerzo (Bao et al., 2019).

Según Sisomphon y Franke (2007), un recubrimiento de al menos 20 mm constituye una barrera básica para retardar la penetración del CO₂ en ambientes moderados. Bucher et al. (2017) determinaron que un recubrimiento mínimo de 30 mm en ambientes urbanos ofrece protección frente a la penetración del CO₂. Pero, Sanjuán y del Olmo (2001) señalan que, en estructuras expuestas a variabilidad climática, incluso espesores de 30 mm podrían no garantizar la protección necesaria. Dadd et al. (2025) demostraron que, en estructuras expuestas a cloruros y CO₂, el recubrimiento mínimo debe aumentar a 70 mm, superando los 45 mm de estándares internacionales.

La norma peruana E.060 del *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento* (MVCS, 2009) recomienda un recubrimiento mínimo de 40 mm para vigas y columnas de concreto armado, valor que se considera adecuado para condiciones ambientales típicas del país.

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. *Concreto armado*

El concreto armado es un material de construcción compuesto por una mezcla de cemento, agua, agregado fino (arena) y agregado grueso (grava) que se refuerza con barras de acero (García, 2014). El concreto aporta resistencia a la compresión, mientras que las barras de acero colocadas estratégicamente en su interior permiten resistir esfuerzos de tracción y flexión. (Harmsen, 2005).

2.3.2. *Columnas de concreto armado*

Las columnas de concreto armado son elementos esenciales en las estructuras, elaborados mediante la combinación de concreto y acero de refuerzo, cuya función principal es transmitir las cargas verticales a la cimentación. Además de soportar cargas gravitacionales, las columnas desempeñan un rol fundamental en la respuesta sísmica de las edificaciones, por lo que su diseño adecuado es imprescindible para garantizar la seguridad estructural (Harmsen, 2005).

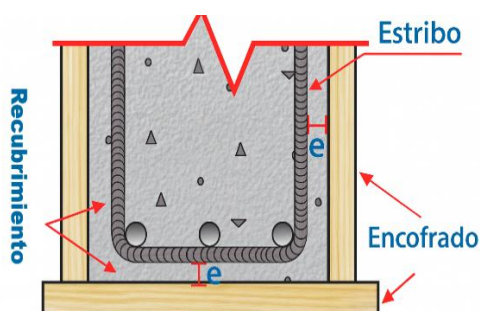
2.3.3. *Espesor del recubrimiento del concreto*

El recubrimiento del concreto es la capa que envuelve al acero de refuerzo y cuya función principal es protegerlo de la corrosión, mantener su ubicación estructural y proporcionar resistencia al fuego (MVCS, 2009). Este espesor de concreto aísla la armadura del ambiente, evitando la pérdida de alcalinidad y, posteriormente, el desprendimiento del recubrimiento y la reducción de la sección del acero, deteriorando la capacidad estructural (Vidaud y Vidaud, 2012).

Las normas peruanas establecen espesores mínimos según la exposición: 70 mm para concreto en contacto permanente con el suelo; 50 mm o 40 mm para elementos expuestos a cloruros o sulfatos según el diámetro de la barra; y 20–40 mm para elementos no expuestos, como losas, vigas y columnas (MVCS, 2009).

Figura 3

Detalle de la ubicación del recubrimiento



Nota. (Aceros Arequipa, 2023).

2.3.4. Espesor del recubrimiento de columnas de concreto armado

El espesor de recubrimiento en columnas de concreto armado se refiere a la capa de material que se encuentra entre el acero de refuerzo y el exterior de las columnas, que actúa como protección para el acero y ayuda a prevenir la corrosión y los daños causados por la exposición a elementos agresivos como el agua, el clima y los productos químicos (Paredes et al., 2013). Las normas peruanas establecen un espesor mínimo de 40 mm de recubrimiento para columnas (MVCS, 2009).

2.3.5. Resistencia a compresión del concreto armado por pruebas no destructivas

La resistencia a compresión es la propiedad mecánica fundamental del concreto armado, pues define su capacidad para soportar cargas axiales y garantizar la estabilidad estructural. Esta resistencia depende de la calidad de la pasta cementicia, la relación agua/cemento y la adecuada interacción con el acero de refuerzo (Harmsen, 2005).

El método de rebote o esclerometría es una prueba no destructiva utilizada para estimar la dureza superficial del concreto mediante la medición del número de rebote del martillo. Aunque la relación teórica entre esta lectura y la resistencia real del concreto es limitada, se han desarrollado correlaciones empíricas que permiten vincular el rebote con propiedades mecánicas del material (Martínez J. G., 2018).

2.3.6. Intemperización

La intemperización es el proceso de deterioro que sufren los materiales expuestos al ambiente debido a la acción combinada de factores físicos, químicos y biológicos como radiación solar, variaciones térmicas, humedad, lluvia, viento o contaminación. Estos agentes generan cambios estructurales y superficiales, y provocan fenómenos como fisuras por dilatación y contracción, corrosión en metales y degradación química, lo que reduce la resistencia de los materiales (Refulio, 2023).

2.3.6.1. Factores de intemperización.

Dióxido de carbono (CO₂). Gas de efecto invernadero presente en la atmósfera cuyo incremento está asociado a fuentes antropogénicas como la combustión vehicular, sus niveles atmosféricos típicos oscilan entre 350–450 ppm (Rengifo, 2022).

Temperatura. Variable climática fundamental en el monitoreo ambiental, influenciada por factores urbanos y naturales, este factor incrementa la exposición a radiación UV cuando las temperaturas son mayores a 28 °C (Rengifo, 2022).

Humedad. Variable meteorológica que representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire. El rango saludable recomendado se encuentra entre 40% y 60%, debido a que niveles elevados incrementan el riesgo de infecciones respiratorias para los humanos (Rengifo, 2022). Sin embargo, de acuerdo con López et al. (2006) niveles de 50% a 70% de humedad favorecen la carbonatación del concreto.

Tabla 1

Proceso de carbonatación en relación con la humedad relativa

Humedad Relativa % (HR)	Proceso de Carbonatación
HR > 70%	Evita el ingreso de CO ₂
50% < HR < 70%	Avanza rápidamente
HR < 50%	No hay suficiente agua para que se disuelva el CO ₂

Nota. López et al. (2006).

2.3.6.2. Intemperización del concreto.

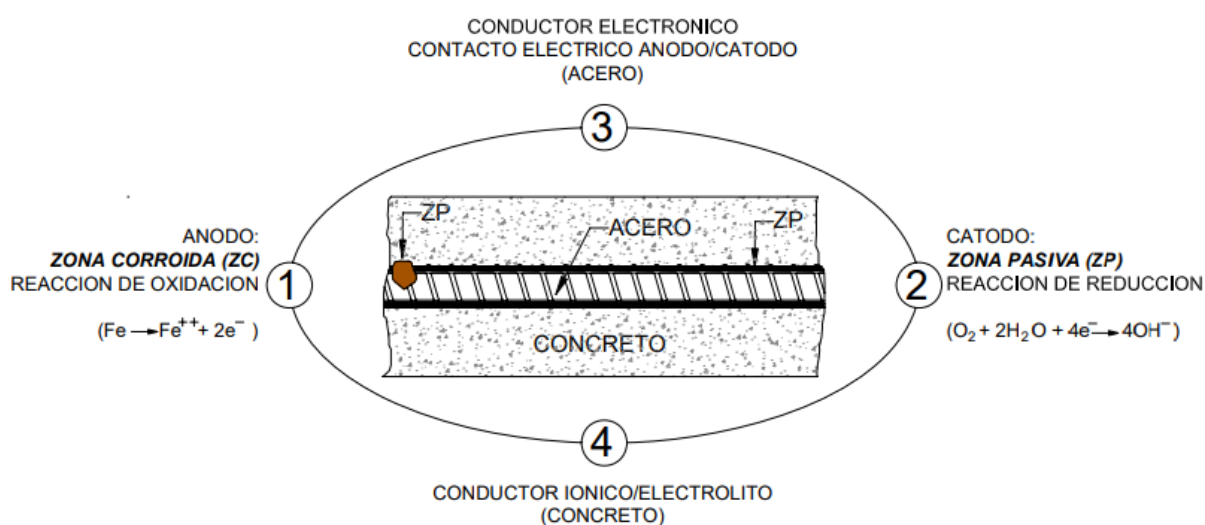
La intemperización del concreto se produce por la exposición prolongada a humedad, radiación solar y agentes químicos, lo que acelera su deterioro y reduce su capacidad estructural. La infiltración de agua favorece la corrosión del acero de refuerzo y la formación de grietas por ciclos de congelamiento y deshielo, mientras que la radiación ultravioleta degrada los componentes del concreto (Farzampour, 2019).

2.3.6.3. Intemperización como causante de la carbonatación en el concreto.

La intemperización facilita la carbonatación del concreto al permitir la continua interacción del dióxido de carbono atmosférico con la humedad presente en sus poros, produciendo carbonato de calcio y reduciendo progresivamente el pH del material (medida de su alcalinidad, determinada principalmente por la presencia de hidróxidos como $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH y KOH que se forman durante la hidratación del cemento). Este proceso disminuye la alcalinidad responsable de la protección pasiva del acero de refuerzo, aumentando su susceptibilidad a la corrosión (López et al., 2006).

Figura 4

Elementos constituyentes de la celda de corrosión



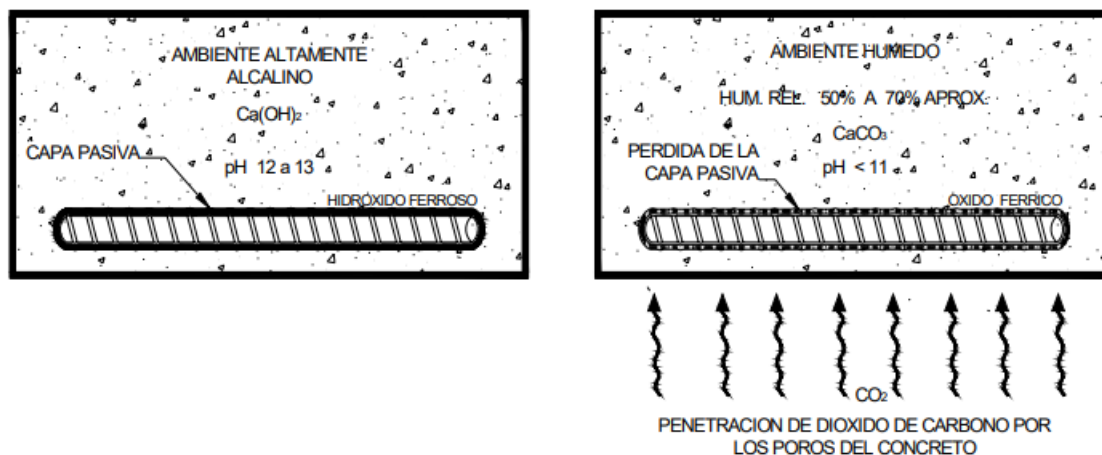
Nota. (López et al., 2006).

2.3.7. Carbonatación en el concreto armado

La carbonatación en el concreto armado es un proceso químico natural y progresivo mediante el cual el dióxido de carbono atmosférico penetra en los poros del concreto y reduce su alcalinidad, avanzando desde la superficie hacia el interior del elemento estructural. Aunque en concretos sin refuerzo este fenómeno suele ser poco significativo, en el concreto armado adquiere importancia crítica porque, al disminuir el pH, destruye la capa pasiva que protege al acero de refuerzo, iniciando su corrosión. Así, un proceso aparentemente inocuo se convierte en un mecanismo de deterioro capaz de comprometer la integridad estructural y generar elevados costos de reparación (Babiche, 2004).

Figura 5

Proceso de carbonatación del concreto con acero de refuerzo



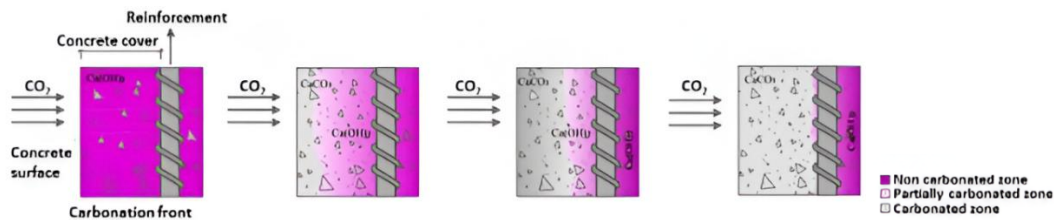
Nota. (López et al., 2006).

2.3.7.1. Profundidad de carbonatación (cm).

La profundidad de carbonatación es la distancia, medida desde la superficie expuesta del concreto hacia el interior, hasta la cual el CO_2 ha reducido la alcalinidad del material. Se expresa en centímetros y permite identificar qué tan cerca está el frente carbonatado de alcanzar el acero de refuerzo, constituyendo un indicador clave de durabilidad (Zhang et al., 2022).

Figura 6

Avance de la profundidad del frente de carbonatación en columnas



Nota. (Idvia, 2023).

2.3.7.2. Grado de carbonatación.

El grado de carbonatación describe el nivel de avance del proceso dentro del concreto, clasificándolo según la respuesta al indicador de pH. De acuerdo con Castillo (2022), los grados pueden ser: nulo (sin carbonatación), inicial (incipiente reacción), parcial (carbonatación en progreso) y total (material completamente carbonatado). Esta clasificación facilita evaluar la severidad del deterioro.

2.3.7.3. Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento.

El porcentaje de carbonatación es la relación entre la profundidad carbonatada y el espesor total del recubrimiento del concreto. Expresa, en términos porcentuales, qué proporción de la capa protectora ha perdido su alcalinidad, lo que permite estimar el riesgo de despasivación del acero de refuerzo (Iraola et al., 2023).

2.3.7.4. Velocidad de avance del frente de carbonatación.

La velocidad de avance del frente de carbonatación es la rapidez con la que avanza el frente carbonatado a lo largo del tiempo dentro del concreto. Dado que la entrada de CO_2 es un proceso difusivo, puede estimarse que el espesor de la capa carbonatada es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo (Babiche, 2004).

$$x = k\sqrt{t} \quad (13)$$

Donde x: capa carbonatada (cm), k: constante, t: tiempo (años). El valor de K puede determinarse si se conocen el espesor de la capa carbonatada y la edad de la estructura.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo porque implica la recopilación y análisis de datos numéricos para comprender y explicar la relación entre las variables en estudio, como el espesor de recubrimiento y la carbonatación (Müggenburg y Pérez, 2007). Asimismo, fue de tipo básico, debido a que estuvo orientada a generar y ampliar conocimiento científico sobre el comportamiento de la carbonatación por intemperización y su relación con el espesor de recubrimiento, sin desarrollar ni aplicar una intervención destinada a modificar las condiciones de las estructuras evaluadas (Ulin et al., 2005). Es de nivel explicativo porque busca comprender las causas y efectos de la carbonatación en relación con el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado, y no se limita a describir las variables (Ramos-Galarza, 2020).

La investigación es de diseño no experimental de corte transversal, porque no implica la manipulación deliberada de variables (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018), en cambio, se trata de una observación y análisis de las condiciones existentes en las viviendas de concreto armado en relación con el espesor de recubrimiento de las columnas y la carbonatación, sin intervenir activamente en su desarrollo.

$$\begin{matrix} & x1 & y \\ M & x2 & y \\ & x3 & y \end{matrix} \quad (14)$$

Donde: M es la muestra o unidad de análisis; x es la variable independiente, el espesor de recubrimiento; y es la variable dependiente, la carbonatación por intemperización.

Tabla 2

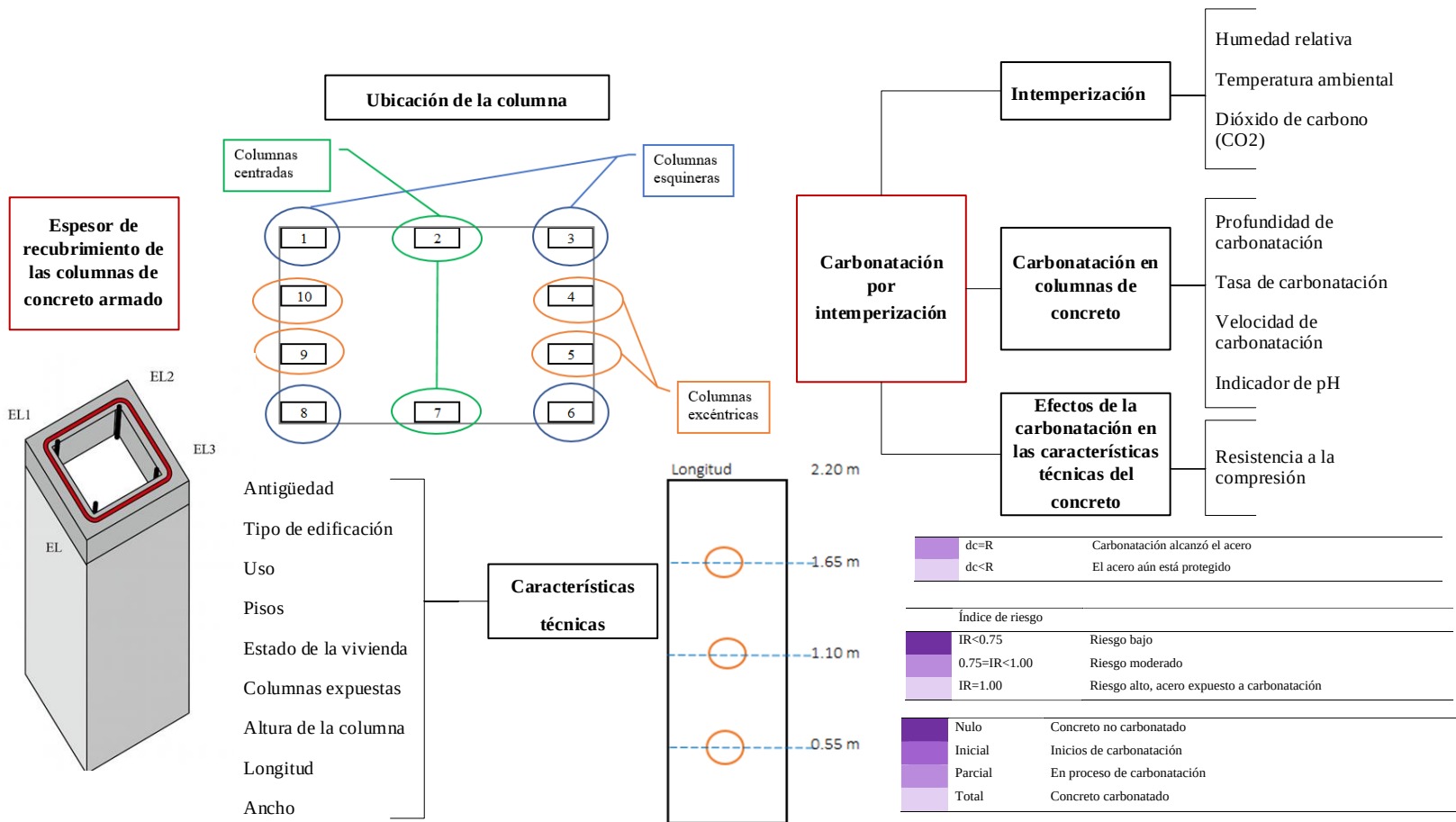
Tipo de investigación según los principales criterios

Finalidad	Enfoque metodológico	Objetivos	Control de diseño	Temporalidad	Contexto donde sucede
Básica	Cuantitativa	Explicativa	No experimental	Transversal	Campo

Nota. (Grajales, 2000).

Figura 7

Diseño de Investigación



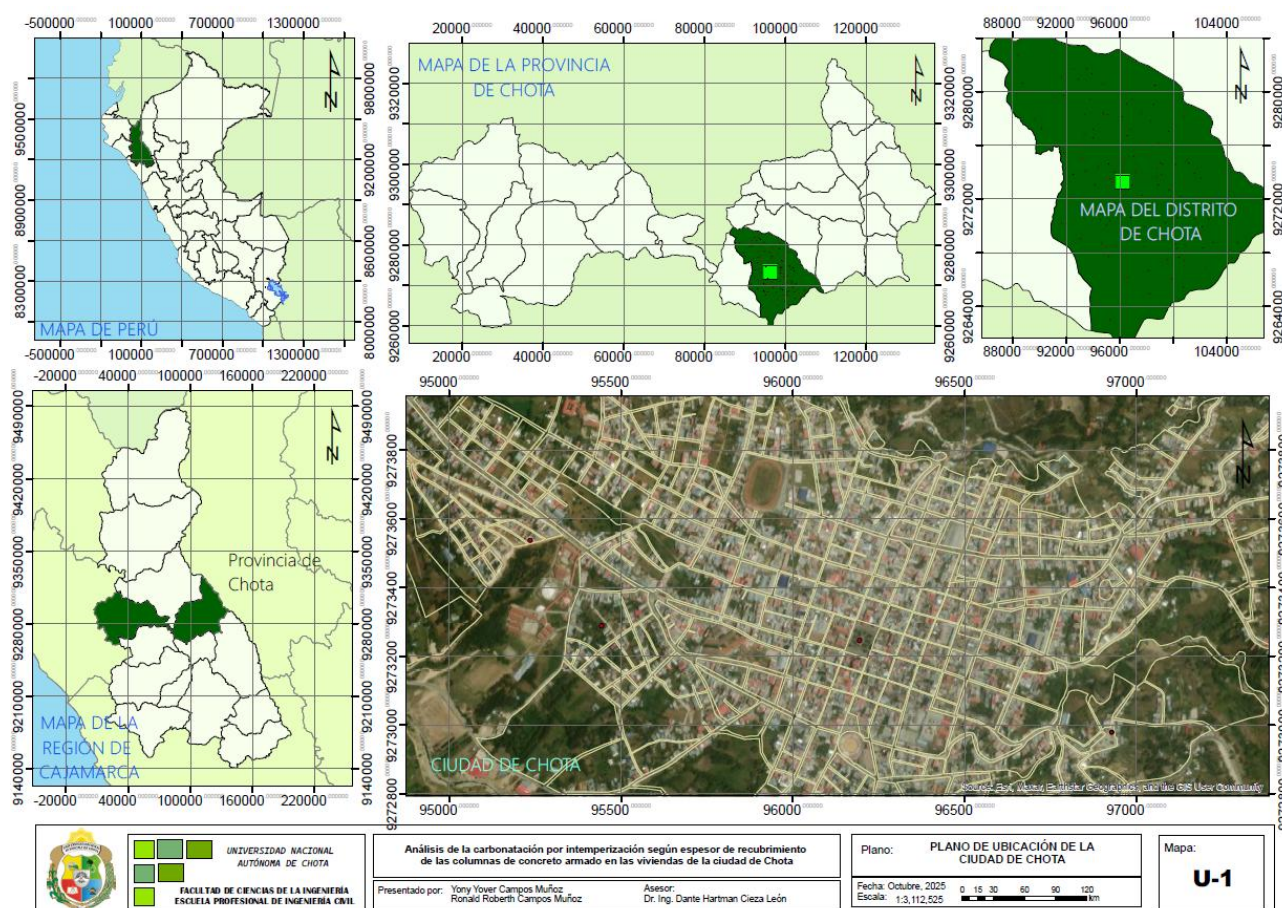
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.2.1. Ubicación

El estudio se desarrolló en la ciudad de Chota, capital del distrito del mismo nombre, situada en la provincia de Chota, región Cajamarca. El área urbana se localiza geográficamente en las coordenadas UTM 759 842.26 m Este y 9 274 111.88 m Norte, a una altitud promedio de 2 388 ms.n.m. (Figura 8). Caracterizada por un clima templado-frío, con temperaturas que oscilaron entre 12.72 °C y 21.08 °C, y episodios de precipitaciones intensas de hasta 105 mm/h (SENAMHI, 2023).

Figura 8

Ubicación de la ciudad de Chota



Nota. Se han obtenido los SHP de la página web GEOGPS Perú a partir de datos del Ministerio de Educación (MINEDU) y se han elaborado los planos en ArcGIS 2018.

3.2.2. Población

La población estuvo constituida por todas las columnas de concreto armado expuestas a la intemperización, junto con sus respectivos recubrimientos y superficies de concreto susceptibles al proceso de carbonatación, pertenecientes a las viviendas del área urbana de la ciudad de Chota. Según el MPCH (2018), aproximadamente el 85 % de las viviendas urbanas han sido construidas con concreto armado; y, de acuerdo con el INEI (2018), este porcentaje corresponde a 3 038 viviendas, que constituyen el universo de estructuras potencialmente afectadas por la carbonatación atmosférica.

3.2.3. Muestreo

El muestreo fue de tipo probabilístico, empleando la fórmula de población finita propuesta por Aguilar-Barojas (2005). Se consideró como población total a las 3 038 viviendas construidas con concreto armado en el área urbana de Chota.

La proporción de viviendas con condiciones de carbonatación se estimó en $p = 0.03$, con base en Arpa y Del Carpio (2022), quienes identificaron que en un sector de 100 viviendas al menos tres presentan rasgos de carbonatación por intemperismo. Asimismo, una inspección técnica preliminar realizada por el área de Catastro de la Municipalidad Provincial de Chota permitió confirmar la existencia de viviendas que cumplen con las condiciones mínimas de inclusión (ver anexo).

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q} \quad (15)$$

$$n = \frac{3038 \times 1.96^2 \times 0.97 \times 0.03}{0.10^2 \times (3038 - 1) + 1.96^2 \times 0.97 \times 0.03} = 12 \quad (16)$$

Donde: n es el tamaño de la muestra en viviendas; N es la población total en viviendas igual a 3038 viviendas; Z es el valor de confianza, adimensional, igual a 1.96 para un 95% de confianza; p y q son proporciones, adimensionales, $p = 0.03$ (viviendas con carbonatación), $q = 0.97$ (viviendas sin carbonatación); d es el error máximo admisible, adimensional igual a 0.10, error máximo admisible.

El cálculo determinó una muestra mínima de 12 viviendas.

Tabla 3

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Viviendas ubicadas en el área urbana de Chota.	Viviendas construidas con materiales distintos del concreto armado.
Viviendas con columnas de concreto armado expuestas a la intemperie (azoteas sin techar o edificaciones inconclusas).	Columnas ubicadas en interiores o protegidas por muros, techos o enchapados que impidan medir la carbonatación.
Columnas cuyo recubrimiento sea accesible para aplicar los ensayos de fenolftaleína y de esclerometría.	Columnas con recubrimientos o acabados no removibles (pinturas epóxicas, revestimientos cerámicos, tarrajes especiales).
Viviendas habitadas o en proceso de construcción que permitan el acceso del equipo evaluador.	Viviendas que nieguen la autorización para la inspección.
Columnas que no hayan sido intervenidas recientemente con reparaciones ni con morteros nuevos.	Columnas con intervenciones recientes que alteren su estado original (reparaciones, parches).

Nota. La tabla presenta los criterios de inclusión y exclusión aplicados a la selección de viviendas y columnas de concreto armado evaluadas en el estudio.

3.2.4. Muestra

La muestra final estuvo conformada por 16 viviendas ubicadas en el área urbana de Chota, construidas con concreto armado y que presentan columnas expuestas a la intemperización, específicamente ubicadas en azoteas sin cobertura.

En cada vivienda se seleccionó la columna con mayor probabilidad de presentar carbonatación, determinada mediante inspección visual previa y/o cuando más de una presentaba estas características de forma aleatoria. Sobre dicha columna se realizó:

- Ensayos con fenolftaleína para determinar la profundidad de carbonatación.
- Ensayos de esclerometría para estimar la resistencia a la compresión del concreto.

3.2.5. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo constituida por cada columna de concreto armado expuesta a la intemperización, considerando su recubrimiento, la superficie accesible y las condiciones geométricas relevantes para el avance del frente de carbonatación.

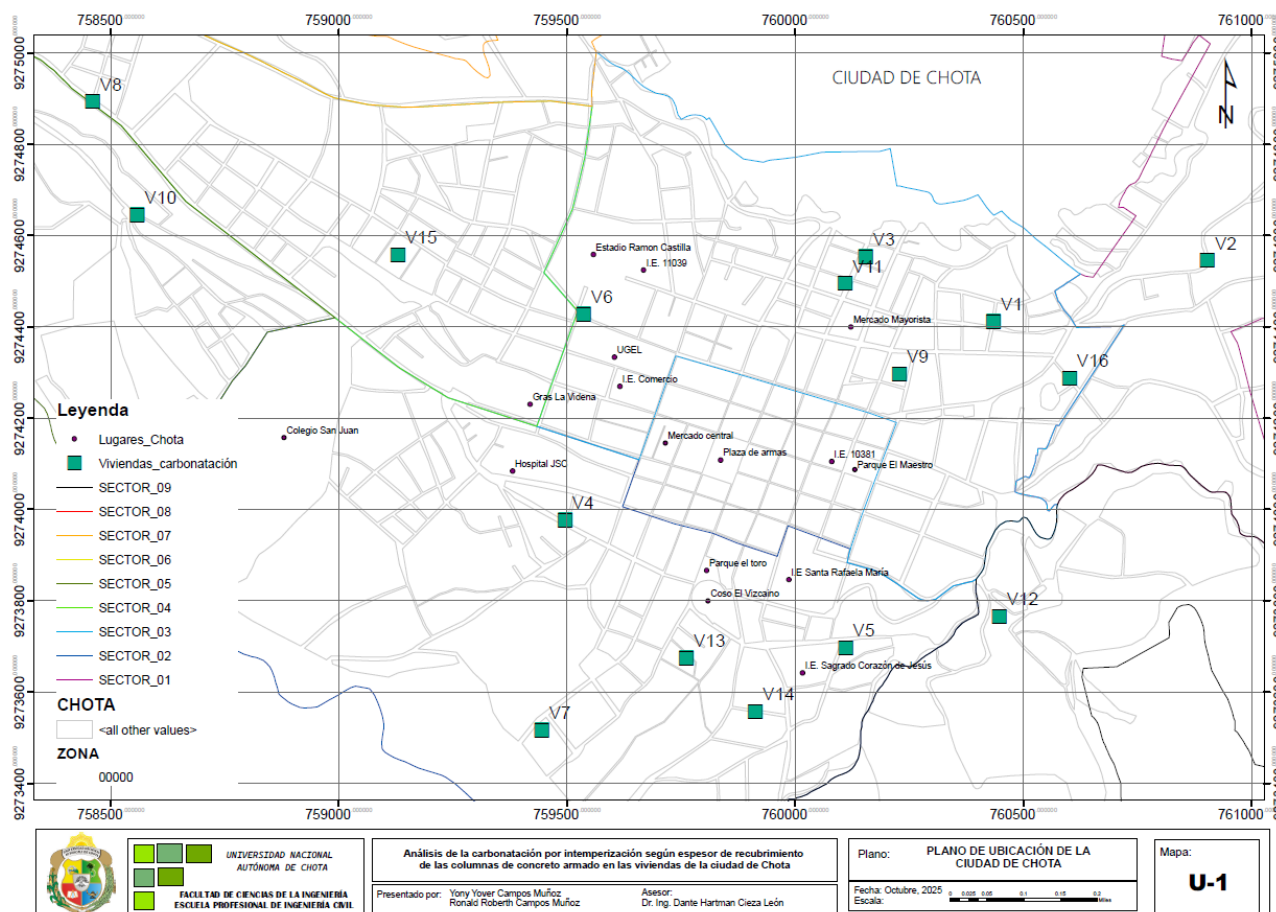
Tabla 4

Ubicación de las viviendas de estudio

N°	Dirección	Coordenadas UTM WGS84 17S	
		Este (m)	Norte (m)
1	Jr. Juan Ramírez N°228	760434.00	9274411.00
2	Av. Tacabamba 703	760903.00	9274545.00
3	Jr.27 Noviembre N°1068	760154.00	9274554.00
4	Av. Fray José Arana	759495.00	9273976.00
5	Av. Tupac Amaru N°402	760110.00	9273697.00
6	Jr. Adriano Novoa N° 870	759536.00	9274428.00
7	Prolongación Anaximandro Vega	759444.00	9273516.00
8	Av. Inca Garcilaso De La Vega	758460.00	9274893.00
9	Jr. Edelmira Silva N° 663	760228.00	9274296.00
10	Jr. Gregorio Malca N° 401	758558.00	9274645.00
11	Jr. 27 Noviembre N° 995	760109.00	9274495.00
12	Jr. Rinconada. Colpamayo N°549	760447.00	9273765.00
13	Pje. Feliberto Rojas 130	759761.04	9273674.09
14	Jr. Eriverto Rivera N° 155	759912.00	9273557.00
15	Pje. Avelardo Diaz N°63	759129.00	9274557.00
16	Av. Todos Los Santos N° 224	760601.00	9274287.00

Figura 9

Ubicación de las viviendas de estudio en la ciudad de Chota



3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Observación. Se realizó la inspección visual de las columnas de concreto armado para identificar indicios preliminares de carbonatación, como variaciones en la coloración superficial, presencia de fisuras, microfisuras o desprendimientos del recubrimiento. Además, por medio de un medidor ambiental portátil (sensor NDIR), modelo OEM 2024 se observó y registró el contenido de CO₂, la temperatura y la humedad relativa.

Encuesta. Se aplicó un cuestionario estructurado dirigido a los propietarios de las viviendas seleccionadas, con el propósito de obtener información complementaria sobre las características de la edificación, incluyendo antigüedad, número de niveles, antecedentes constructivos y resistencia nominal del concreto utilizada en columnas.

Medición. Se realizó la medición directa del espesor de recubrimiento de las columnas mediante instrumentos de precisión (cinta métrica). Se determinó la profundidad de carbonatación con vernier mediante perforaciones controladas en tres puntos de cada columna evaluada, aplicando posteriormente el químico fenolftaleína. De igual forma, se estimó la resistencia a compresión del concreto in situ mediante el ensayo de esclerometría utilizando martillo de rebote tipo Schmidt, modelo TC-49A (Tipo N).

Análisis. Las muestras de polvo obtenidas durante las perforaciones fueron analizadas en laboratorio para determinar el pH del concreto con medidor digital de pH HANNA Instruments HI98103 Checker®, evaluando así la condición de alcalinidad interna y el grado de avance del proceso de carbonatación.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Todos los instrumentos empleados en la investigación fueron sometidos a validación por juicio de expertos, garantizando su pertinencia, confiabilidad y adecuada aplicación en el trabajo de campo.

Guion de observación. Documento elaborado previamente que orientó la inspección sistemática de las columnas de concreto armado, enfocando la atención en características relevantes para la detección de carbonatación. Para registrar la información obtenida se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Cuaderno de campo, destinado al registro detallado de observaciones y condiciones del entorno.
- Medidor ambiental portátil (termohigrómetro con sensor NDIR), empleado para registrar concentraciones de CO₂, temperatura y humedad relativa.
- Cámara fotográfica.

Cuestionario. Instrumento estructurado que recopiló información proporcionada por los propietarios de las viviendas seleccionadas. Incluyó preguntas sobre antigüedad de la edificación, número de niveles, antecedentes constructivos, características de las columnas y resistencia nominal del concreto. Su finalidad fue complementar los datos técnicos obtenidos en campo.

Formatos de medición. Conjunto de formatos diseñados para registrar de manera sistemática los resultados obtenidos durante las mediciones:

- Registro de perforaciones y extracción de polvo, utilizado para documentar la obtención de muestras destinadas al análisis de carbonatación.
- Indicador de fenolftaleína, aplicado sobre las superficies recién expuestas para identificar el espesor del concreto carbonatado.
- Formato de esclerometría, empleado para registrar los valores de rebote del martillo Schmidt y estimar la resistencia a la compresión in situ.

Formato de análisis. Documento utilizado para registrar los resultados del análisis de pH del concreto mediante un medidor digital, a fin de evaluar el nivel de alcalinidad y el avance del proceso de carbonatación.

3.4. Hipótesis

En las viviendas de la ciudad de Chota, la carbonatación por intemperización de las columnas de concreto armado aumenta significativamente cuando disminuye el espesor de recubrimiento.

3.5. Operacionalización de variables

3.5.1. *Variable independiente: Espesor de recubrimiento de las columnas*

El espesor de recubrimiento de columnas de concreto armado se refiere a la distancia entre la superficie exterior de la columna y las barras de refuerzo internas. El recubrimiento de concreto protege el acero de refuerzo de los factores ambientales y garantizar la resistencia de las columnas (Paredes et al., 2013).

El espesor de recubrimiento se determina mediante instrumentos de medición en unidades de cm, esto implica tomar medidas en múltiples puntos a lo largo de la columna para asegurar una precisión y uniformidad adecuadas (Paredes et al., 2013).

3.5.2. *Variable dependiente: Carbonatación por intemperización*

La carbonatación por intemperización en el concreto armado se refiere al proceso en el cual el dióxido de carbono presente en el aire reacciona con los compuestos alcalinos del concreto, como el hidróxido de calcio, y forma carbonato de calcio. Esta reacción química disminuye el pH del concreto y puede provocar la corrosión de las armaduras de acero que se encuentran en su interior (Babiche, 2004).

La carbonatación por intemperización en el concreto armado se evalúa mediante análisis químicos y técnicas de medición del pH del concreto, así como inspecciones visuales de la corrosión de las armaduras de acero. Se puede calcular la profundidad de carbonatación para determinar el grado de deterioro del concreto y la necesidad de medidas de reparación o protección adicionales (Babiche, 2004).

3.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 5

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Índice de medida
VI Espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado	El espesor de recubrimiento de columnas de concreto armado se refiere a la distancia entre la superficie exterior de la columna y las barras de refuerzo internas (Paredes et al., 2013).	Espesor de recubrimiento	Distancia de la superficie exterior	2 cm	cm
				3 cm	cm
				4 cm	cm
		Ubicación de la columna	Localización de la columna en la edificación	Columna esquinada	Número de columnas
				Columna centrada	Número de columnas
				Columna excéntrica	Número de columnas
		Características técnicas	Aquellas condiciones que caracterizan a la vivienda y a la columna en análisis	Antigüedad	Años
				Tipo de edificación	Material noble
				Uso	Unifamiliar/multifamiliar
				Pisos	Número de pisos
				Estado de la vivienda	Bueno/ regular/ malo
				Columnas expuestas	Número
				Altura de la columna	m
VD Carbonatación por intemperización	La carbonatación por intemperización en el concreto armado se refiere al proceso en el cual el dióxido de carbono presente en el aire reacciona con los compuestos alcalinos del concreto, como el hidróxido de calcio, y forma carbonato de calcio (Babiche, 2004).	Intemperización	Características climatológicas y atmosféricas del lugar de estudio	Humedad relativa	%
				Temperatura ambiental	°C
				Dióxido de carbono (CO ₂)	ppm
		Carbonatación en columnas de concreto	Propiedades que se determinan por medio de ensayos cuantitativos en campo para definir la carbonatación del concreto armado.	Profundidad de carbonatación	mm
				Tasa de carbonatación	%
				Velocidad de carbonatación	mm/día
				Indicador de pH	pH
		Efectos de la carbonatación en las características técnicas del concreto	La carbonatación puede llegar a afectar la resistencia a compresión del concreto	Resistencia a la compresión	Kg/cm ²

3.6. Procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Selección e inspección visual de las viviendas de estudio

Se realizó un recorrido sistemático por las viviendas identificadas en la muestra final, verificándose la presencia de columnas de concreto armado expuestas a la intemperización en azoteas sin cobertura. Durante esta inspección se evaluó el estado superficial del concreto mediante observación directa, registrando coloraciones atípicas, desprendimientos del recubrimiento, fisuras visibles y cualquier manifestación asociada a procesos de carbonatación. Las observaciones fueron documentadas fotográficamente y registradas en cuaderno de campo, permitiendo establecer un diagnóstico preliminar del nivel de afectación potencial en cada vivienda.

Figura 10

Inspección y registro visual de las viviendas seleccionadas para el estudio de carbonatación



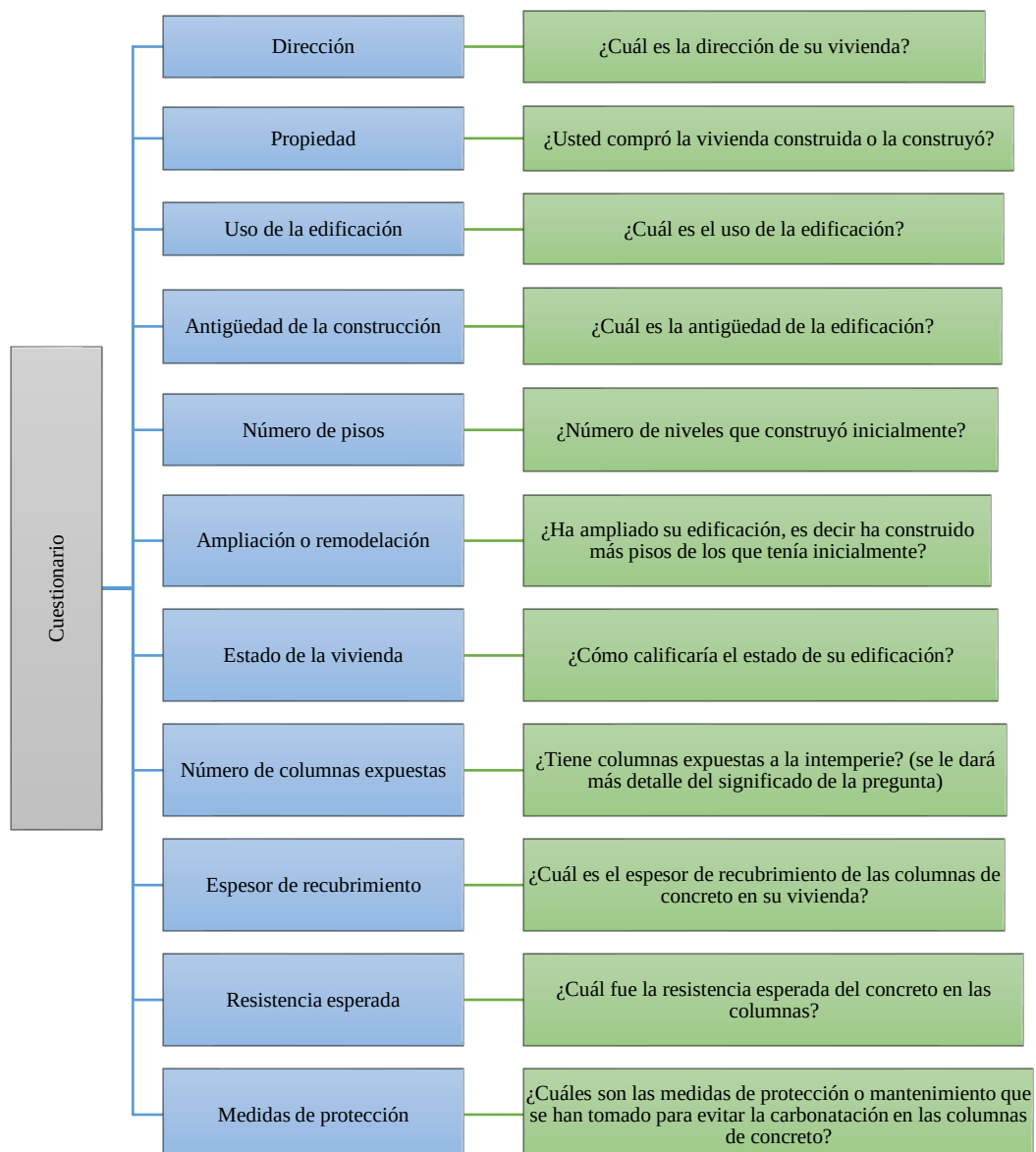
Nota. Verificación visual de la vivienda desde un ángulo frontal, permitiendo evaluar el estado de conservación exterior, la configuración arquitectónica y la presencia de elementos estructurales expuestos que puedan favorecer la intemperización y la progresión de la carbonatación.

3.6.2. Encuesta a los propietarios de las viviendas

Se aplicó un cuestionario estructurado a los propietarios de las 16 viviendas seleccionadas respetando los aspectos éticos de la investigación, tal como, el anonimato de los propietarios de las edificaciones donde se llevó a cabo la investigación. La encuesta permitió recopilar información complementaria vinculada a la antigüedad de la edificación, número de niveles, tipo de concreto utilizado durante la construcción, antecedentes constructivos y posibles intervenciones previas en las columnas.

Figura 11

Datos recopilados del cuestionario aplicado a los propietarios

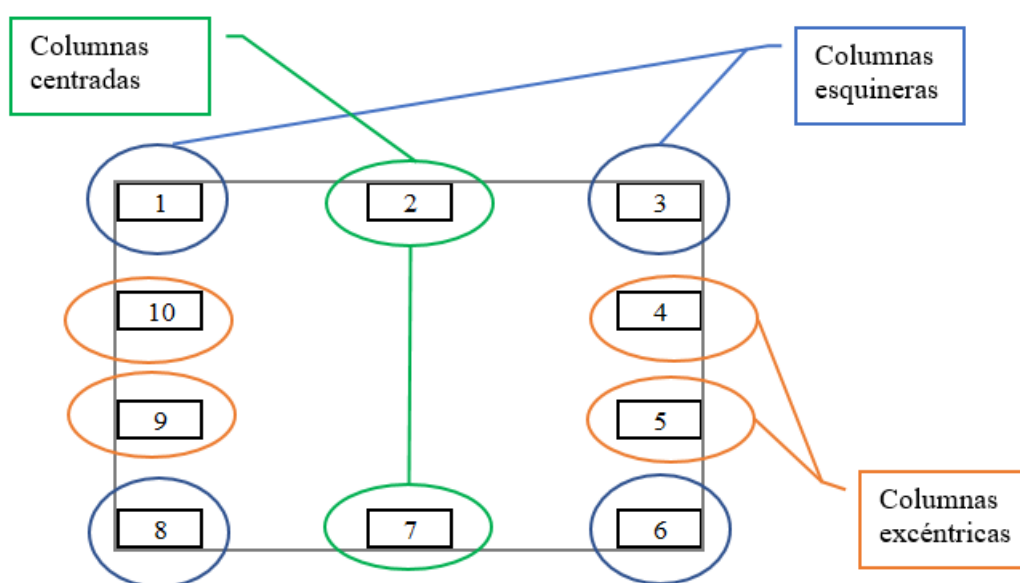


3.6.3. Determinación de la columna de análisis por proceso aleatorio

Una vez recopilada la información preliminar, se procedió a seleccionar la columna de análisis de cada vivienda mediante un proceso aleatorio simple. Para ello, se enumeraron las columnas expuestas en azotea y se empleó un generador aleatorio de números (comando ALEATORIO.ENTRE(inferior; superior) en Microsoft Excel 2024), lo que garantizó la imparcialidad en la elección. La columna seleccionada fue marcada y registrada como unidad de observación para la ejecución de ensayos posteriores, siguiendo un protocolo uniforme en todas las viviendas evaluadas.

Figura 12

Diagrama que representa la ubicación de columnas en una vivienda



Nota. En el diagrama se muestran las columnas centradas, esquineras y excéntricas según su ubicación en la vivienda. Columna centrada: Es la columna ubicada en el interior de la planta, rodeada por elementos estructurales en todos sus lados y sometida principalmente a cargas axiales uniformes. Columna esquinera: Es la columna ubicada en una esquina de la edificación, expuesta a dos caras exteriores y sometida a mayores esfuerzos de flexión debido a cargas no uniformes. Columna excéntrica (o lateral): Es la columna situada en un borde o lado de la planta, expuesta a una cara exterior y sometida a cargas desbalanceadas que generan excentricidad y mayores momentos.

3.6.4. Verificación y registro del espesor de recubrimiento

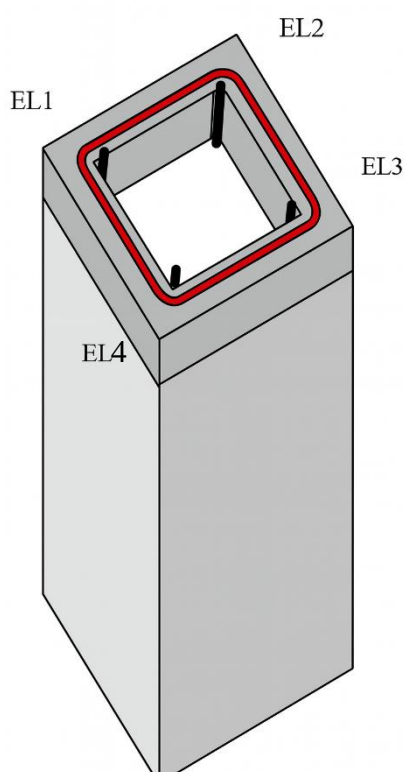
El espesor de recubrimiento de cada columna seleccionada se verificó mediante medición directa con una cinta métrica metálica de precisión. La medición se efectuó en tres puntos equidistantes de la cara expuesta, retirando previamente el tarrajeo superficial cuando existía. Los valores obtenidos se promediaron y se registraron como espesor efectivo de recubrimiento.

$$\text{Espesor efectivo} = \frac{EL1+EL2+EL3+EL4}{4} \quad (17)$$

Donde: EL es el espesor lateral; EL1, EL2, EL3 y EL4 son los espesores laterales del recubrimiento, expresados en cm; el espesor efectivo también se expresa en cm.

Figura 13

Representación isométrica del espesor de recubrimiento en una columna



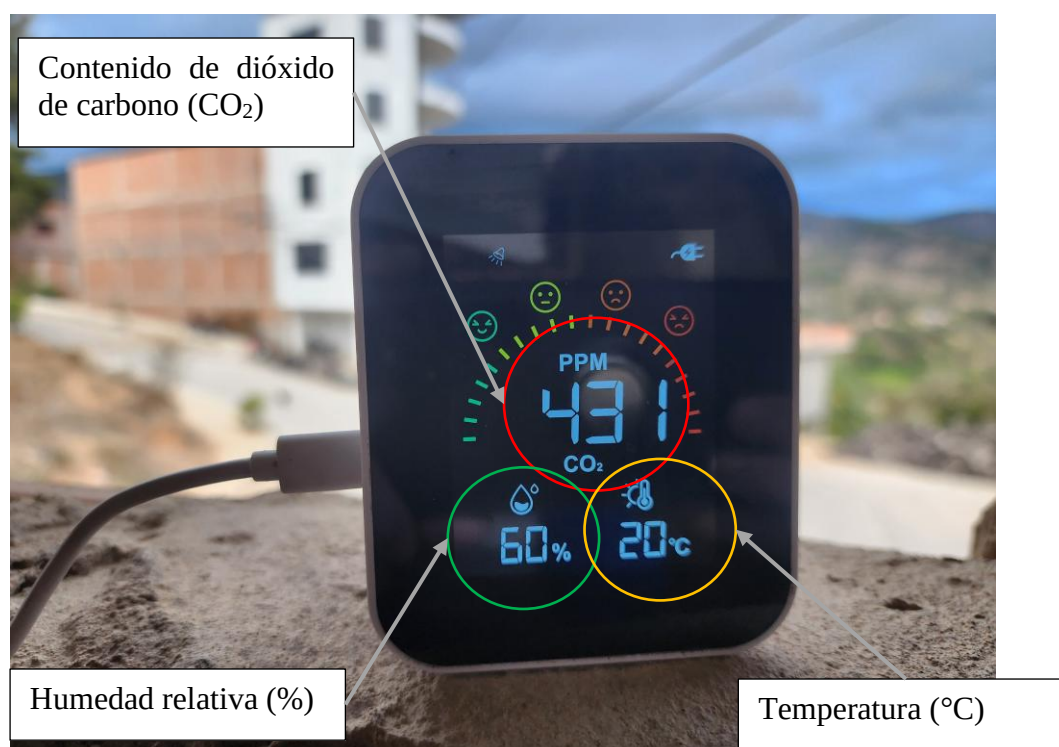
Nota. La figura muestra el recubrimiento (EL1–EL4) a lo largo de todo el perímetro de la columna, así como la ubicación del acero longitudinal y de los estribos internos, con el cuerpo de la columna sombreado en gris para destacar el espesor del recubrimiento.

3.6.5. Registro de las condiciones climáticas del entorno (CO_2 , temperatura y humedad)

Con el objetivo de contextualizar el ambiente de exposición de cada columna, se registraron in situ la concentración de dióxido de carbono (CO_2), la humedad relativa (HR) y la temperatura ambiente. Para ello se utilizó un medidor ambiental portátil con sensor NDIR, modelo OEM 2024, que permitió obtener lecturas instantáneas en la azotea de cada vivienda. Los valores registrados fueron consignados en el cuaderno de campo y, posteriormente, vinculados al comportamiento de la carbonatación, dado que estos parámetros constituyen factores determinantes de la velocidad de avance del frente de carbonatación.

Figura 14

Medidor ambiental portátil NDIR modelo OEM 2024 utilizado en el registro de CO_2 , temperatura y humedad



Nota. El equipo se emplea para medir en tiempo real las condiciones ambientales durante los ensayos de carbonatación en columnas, registrando las concentraciones de CO_2 (ppm), la humedad relativa (%) y la temperatura (°C).

3.6.6. *Análisis de carbonatación en columnas*

Para determinar la profundidad de carbonatación en las columnas de concreto armado, se realizaron perforaciones controladas en tres alturas estandarizadas en cada columna, distribuidas a lo largo de la longitud total del elemento. Las perforaciones se realizaron con un taladro manual equipado con una broca de 3.5 cm de diámetro, lo que permitió exponer secciones internas del concreto para su análisis químico inmediato.

$$\text{Altura de columna en el punto 1} = \frac{\text{Longitud}}{4} \quad (18)$$

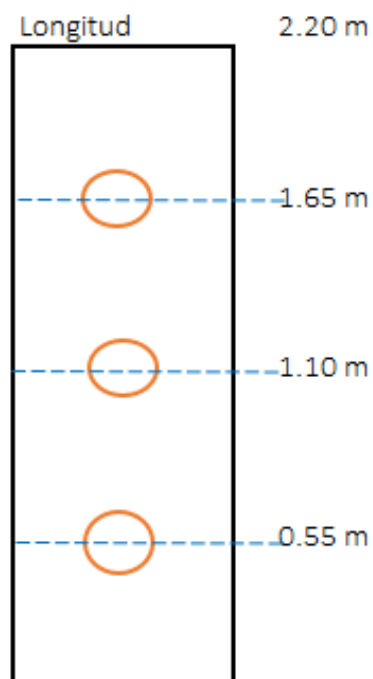
$$\text{Altura de columna en el punto 2} = \frac{\text{Longitud}}{2} \quad (19)$$

$$\text{Altura de columna en el punto 3} = \frac{\text{Longitud}}{4} \times 3 \quad (20)$$

Donde: la longitud o altura de la columna debe expresarse en m o cm, según el levantamiento de campo; los puntos 1, 2 y 3 representan las alturas de perforación.

Figura 15

Ubicación de perforaciones en columnas de concreto armado para carbonatación



Nota. Las imágenes muestran perforaciones realizadas a distancias homogéneas en altura.

El polvo extraído en cada nivel fue recolectado en recipientes estériles para su registro y contraste en laboratorio, mientras que la superficie recién expuesta se trató con una solución de fenolftaleína al 1% aplicada por aspersión directa. El indicador permitió identificar la frontera de carbonatación:

- Color magenta → concreto no carbonatado
- Ausencia de color → concreto carbonatado

La profundidad del frente de carbonatación (x_c) se obtuvo midiendo con un vernier el espesor de la zona sin coloración. Posteriormente, cada valor se comparó con el recubrimiento real medido (R) para determinar el grado de afectación.

$$\text{Profundidad de carbonatación} = x_c \quad (21)$$

$$\text{Profundidad de recubrimiento} = R \quad (22)$$

Donde: x_c es la profundidad de carbonatación en cm y R es la profundidad de recubrimiento en cm.

Tabla 6

Interpretación de la profundidad de carbonatación

	$d_c \geq R$	Carbonatación alcanzó el acero
	$d_c < R$	El acero aún está protegido

Nota. (Castillo, 2022).

Tabla 7

Grado de carbonatación según el color

	Nulo	Concreto no carbonatado
	Inicial	Inicios de carbonatación
	Parcial	En proceso de carbonatación
	Total	Concreto carbonatado

Nota. (Castillo, 2022).

Cálculo de parámetros de carbonatación

$$\text{Porcentaje de carbonatación} = \%C = \frac{x_c}{R} \times 100\% \quad (23)$$

$$\text{Índice de riesgo de carbonatación} = \frac{x_c}{R} \quad (24)$$

$$\text{Velocidad de carbonatación} = k = \frac{xc}{\sqrt{t}} \quad (25)$$

$$\text{Diferencia de avance} = \Delta = R - xc \quad (26)$$

Donde: t, antigüedad de la estructura (años); R, recubrimiento medido (mm o cm); %C se expresa en %, IR es adimensional, k se expresa en cm/ $\sqrt{\text{año}}$ y Δ se expresa en cm.

Tabla 8

Índice de riesgo de carbonatación

Índice de riesgo		
	IR < 0.75	Riesgo bajo
	0.75 ≤ IR < 1.00	Riesgo moderado
	IR ≥ 1.00	Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

Nota. (Castillo, 2022).

Estimación del tiempo para que la carbonatación alcance la armadura

Según recubrimiento total:

$$t = \left(\frac{R}{k}\right)^2 \quad (27)$$

Según recubrimiento no carbonatado (Δ):

$$t = \left(\frac{\Delta}{k}\right)^2 \quad (28)$$

Donde: t se expresa en años, R y Δ en cm, y k en cm/ $\sqrt{\text{año}}$.

Figura 16

Ensayo de carbonatación en probetas extraídas de columnas de concreto armado



Nota. Medición del testigo obtenido mediante perforación, en la que se observan las zonas carbonatada y no carbonatada tras la aplicación de fenoltaleína, registrándose la profundidad de carbonatación.

Figura 17

Aplicación del indicador de fenolftaleína en perforaciones de columnas para determinar la profundidad de carbonatación



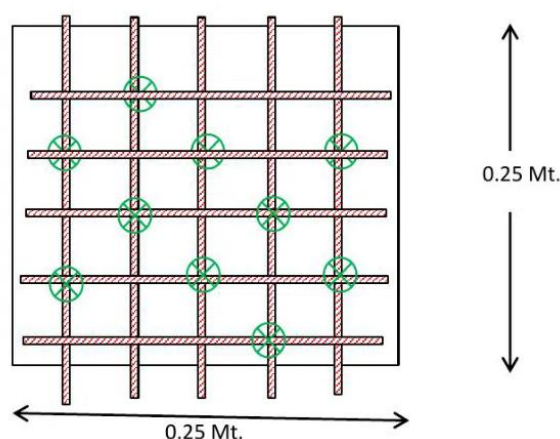
Nota. Las imágenes muestran la colocación de la solución de fenolftaleína en las perforaciones realizadas en la columna. La zona rosa indica el concreto no carbonatado, mientras que la franja gris sin coloración corresponde a la profundidad de carbonatación, que posteriormente fue medida para el análisis del avance del frente carbonatado.

3.6.7. Resistencia a compresión en columnas de concreto con esclerómetro

Con la finalidad de estimar la resistencia a la compresión del concreto in situ, se realizó el ensayo de esclerometría con un martillo de rebote tipo Schmidt, modelo TC-49A (Tipo N), siguiendo las pautas establecidas en la NTP 339.181 (INACAL, 2020). Previamente se preparó la superficie de ensayo retirando el tarrajeo donde era necesario, no obstante, al ser columnas externas dispuestas en la azotea, la mayoría de estas no contaban con una capa de tarrajeo y, por ende, no fue necesario considerar este procedimiento previo. En cada columna se realizaron nueve impactos distribuidos uniformemente, se descartaron los valores atípicos y se calculó el promedio.

Figura 18

Vista del diagrama de zona para el ensayo de esclerometría



Nota. (Soto, 2021).

Con el índice de rebote obtenido y la tabla de correlación proporcionada por el fabricante (misma que se detalla a través del ábaco), se estimó la resistencia equivalente a la compresión para cada columna. Los resultados fueron procesados por los tesisistas de acuerdo con la ecuación definida para el sentido del ensayo (0°).

$$y = 0.1102x^2 + 6.6997x - 93.986 \quad (29)$$

Donde: y es la resistencia a la compresión estimada en kg/cm², x es el índice de rebote promedio del esclerómetro, adimensional.

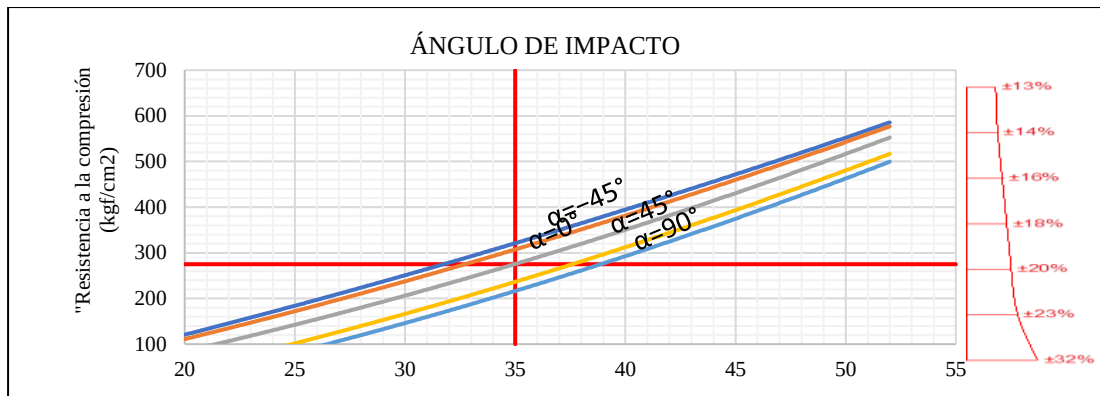
$$F_c = \text{Resistencia promedio de 9 impactos} \quad (30)$$

$$F'_c = F_c - \text{Error} \quad (31)$$

Donde: F_c , resistencia gráfica; E , error; F'_c , resistencia corregida, todos en kgf/cm^2 .

Figura 19

Ábaco de acuerdo al sentido de aplicación de la carga en el ensayo de esclerometría



Nota: obtenida de la ficha técnica del equipo de esclerometría.

Figura 20

Ejecución del ensayo de esclerometría en columnas de concreto armado



Nota. Aplicación del martillo Schmidt sobre la superficie de las columnas, siguiendo el procedimiento estandarizado para obtener el índice de rebote.

3.6.8. *Análisis de pH en laboratorio del polvo de concreto*

Las muestras de polvo recolectadas durante las perforaciones fueron trasladadas al laboratorio para evaluar la alcalinidad del concreto. Para ello se preparó una suspensión agua–concreto con agua destilada y, tras un periodo de estabilización de 20 minutos, se midió el pH mediante un medidor digital de pH HANNA Instruments HI98103 Checker® previamente calibrado. Los valores obtenidos permitieron determinar el grado de pérdida de alcalinidad, parámetro directamente asociado al avance del proceso de carbonatación.

Figura 21

Procedimiento para la obtención y análisis del pH del polvo de concreto extraído de las columnas



(a). Extracción del polvo de concreto generado durante la perforación, el cual fue recolectado y almacenado para su posterior análisis en laboratorio.



(b). Medición del pH de la suspensión agua–concreto utilizando un medidor digital HANNA HI98103, procedimiento empleado para evaluar la alcalinidad del material y su relación con el proceso de carbonatación.

Nota. Las figuras ilustran el proceso completo del ensayo de pH aplicado al polvo de concreto: desde la recolección del material en obra hasta la medición de su alcalinidad en laboratorio.

3.7. Procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos obtenidos en campo y en laboratorio se realizó mediante la organización, clasificación, depuración y codificación de la información relativa a la profundidad de carbonatación, espesor de recubrimiento, pH del concreto, resistencia estimada a la compresión y parámetros ambientales (CO_2 , temperatura, humedad relativa) registrados. Posteriormente, los datos fueron procesados en Microsoft Excel 2025 para generar tablas, gráficos descriptivos y distribuciones preliminares que permitieron caracterizar el comportamiento de la carbonatación por intemperización en las columnas evaluadas.

3.7.2. Análisis de datos

El análisis de datos se desarrolló utilizando los programas SPSS v.26 y Minitab 22, orientado a examinar la relación entre el espesor de recubrimiento del concreto y el avance de la carbonatación, y se complementó con la evaluación de la resistencia a la compresión y de la alcalinidad del material. Para ello, se aplicaron:

Análisis descriptivo. Se calcularon medidas de tendencia central y de dispersión, tales como promedios, desviación estándar y coeficiente de variación, con el propósito de describir el comportamiento de la profundidad de carbonatación, el espesor de recubrimiento, los valores de pH y la resistencia estimada del concreto in situ.

Modelos matemáticos de carbonatación. Con el fin de interpretar el comportamiento de la carbonatación por intemperización y validar tendencias experimentales, se contrastaron los resultados obtenidos con modelos teóricos basados en ecuaciones derivadas de la Ley de Fick, que permiten predecir la velocidad de carbonatación en función del tiempo en el concreto.

Análisis estadístico inferencial. Se emplearon pruebas estadísticas destinadas a evaluar la existencia y la magnitud de las relaciones entre variables. La secuencia de análisis incluyó:

- Prueba de normalidad.
- Prueba Kruskal-Wallis.
- Análisis de regresión lineal simple para modelar la influencia del recubrimiento sobre el avance del frente carbonatado.
- Coeficiente de correlación de Spearman para cuantificar la fuerza y la dirección de la relación entre el espesor de recubrimiento y la profundidad de carbonatación.

Tabla 9

Categorías para la interpretación de la correlación de Spearman

	Valor	Correlación
	1	Positiva perfecta
	0.9 y 0.99	Positiva muy fuerte
	0.7 y 0.89	Positiva fuerte
	0.4 y 0.69	Positiva moderada
	0.2 y 0.39	Positiva débil
	0.01 y 0.19	Positiva muy débil
	0	No hay correlación entre las variables
	-0.01 y -0.19	Negativa muy débil
	-0.2 y -0.39	Negativa débil
	-0.4 y -0.69	Negativa moderada
	-0.7 y -0.89	Negativa fuerte
	-0.9 y -0.99	Negativa muy fuerte
	-1	Negativa perfecta

Nota. (Martínez y Campos, 2015).

3.8. Material y equipos (descripción del uso)

Para la ejecución de las actividades de campo y laboratorio del estudio se emplearon materiales y equipos especializados que permitieron garantizar la precisión, la confiabilidad y la trazabilidad en la obtención de datos. Los instrumentos utilizados fueron seleccionados en función de su capacidad para medir parámetros clave asociados al proceso de carbonatación por intemperización en columnas de concreto armado, tales

como el espesor de recubrimiento, las condiciones ambientales, la profundidad de carbonatación, la resistencia a la compresión y el nivel de alcalinidad del concreto.

Tabla 10

Materiales y equipos utilizados en la recolección y análisis de datos

Material / Equipo	Descripción del uso en el estudio
Medidor ambiental portátil con sensor NDIR (Modelo OEM 2024)	Registró en campo la concentración de CO ₂ (ppm), la temperatura ambiente (°C) y la humedad relativa (%).
Cinta métrica metálica	Se utilizó para medir directamente el espesor de recubrimiento en las columnas seleccionadas.
Vernier / calibre	Permitió medir la profundidad de las perforaciones realizadas para evaluar el frente de carbonatación.
Taladro eléctrico y brocas para concreto	Se empleó para realizar perforaciones controladas en las columnas.
Solución de fenolftaleína al 1%	Actuó como indicador químico para la determinación cualitativa y cuantitativa del frente de carbonatación mediante cambio de color.
Martillo de rebote tipo Schmidt (Modelo TC-49A, Tipo N)	Realizó el ensayo de esclerometría para estimar, in situ, la resistencia a la compresión del concreto mediante el índice de rebote.
Medidor digital de pH HANNA Instruments HI98103 Checker®	Determinó el nivel de alcalinidad del concreto mediante el análisis del polvo recolectado.
Recipientes estériles para almacenamiento de muestras	Contuvieron el polvo de concreto retirado durante las perforaciones, preservando la integridad de la muestra hasta su análisis.
Cuaderno de campo	Registró observaciones, mediciones y referencias durante todas las actividades realizadas en campo.
Cámara fotográfica / Teléfono con cámara de alta resolución	Documentó el estado superficial de las columnas, las evidencias de deterioro y cada etapa del proceso de medición.
Equipo de protección personal (guantes, mascarilla, gafas)	Garantizó la seguridad del personal durante las actividades de inspección, perforación y manipulación de muestras.
Encuesta estructurada impresa	Permitió recopilar información relevante, proporcionada por los propietarios, sobre los antecedentes de cada vivienda.
Computadora portátil con software de análisis	Utilizada para el procesamiento de datos recopilados mediante herramientas estadísticas y programas de sistematización.

Nota. Materiales y equipos empleados en las mediciones de campo y en los análisis de laboratorio.

3.9. Aspectos éticos

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos aplicables a estudios en viviendas habitadas y con participación de propietarios, garantizando la integridad científica, la transparencia metodológica y la protección de los participantes, tal como recomiendan Viorato y Reyes (2019). Los aspectos éticos fueron:

Consentimiento informado. Se obtuvo el consentimiento informado de cada propietario; se explicaron el propósito del estudio, los procedimientos a ejecutar y la duración de la intervención, asegurando su participación voluntaria.

Confidencialidad. Se protegió la identidad de los propietarios. La información fue codificada y registrada mediante identificadores numéricos, evitando el uso de datos personales en cualquier fase del estudio o en la difusión de los resultados.

Respeto a la propiedad privada. Todas las actividades de inspección, medición, perforación y registro se realizaron con autorización expresa del propietario, garantizando que ninguna intervención causara daño estructural al inmueble.

Equidad. La selección de viviendas se basó en criterios técnicos definidos en el muestreo, sin discriminación por condición socioeconómica, por ubicación dentro del área urbana ni por cualquier otra característica ajena al objetivo científico.

Honestidad y transparencia científica. Los datos recolectados fueron registrados íntegramente, sin manipulación ni alteración.

Rigurosidad metodológica. Se aplicaron instrumentos calibrados y protocolos adecuados para la toma de datos estructurales, ambientales y fisicoquímicos.

Seguridad durante la recolección de datos. El equipo investigador empleó medidas de protección personal y operativa, evitando riesgos en la manipulación de herramientas, en perforaciones en columnas y en el uso de equipos eléctricos o químicos, preservando tanto la integridad de los participantes como la del inmueble.

Uso responsable de resultados. Los resultados se utilizaron exclusivamente con fines académicos y científicos, orientados a mejorar la comprensión del fenómeno de la carbonatación y a contribuir a la seguridad estructural de las viviendas.

Divulgación responsable. Los hallazgos de la investigación fueron comunicados de manera clara, objetiva y accesible, sin generar alarma en la población y respetando la confidencialidad acordada con los propietarios.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. *Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según espesor de recubrimiento*

La profundidad de carbonatación en las viviendas de Chota presenta una tendencia directamente asociada al espesor de recubrimiento y al grado de exposición a la intemperie. En promedio, las columnas registran 2.15 cm de carbonatación, equivalentes al 74.21 % del recubrimiento, con un índice de riesgo de 0.74, lo que indica una condición predominantemente moderada, aunque con varios casos críticos. Viviendas con recubrimientos reducidos (como la vivienda 14, con 1 cm) alcanzan los niveles más altos de afectación (176.67 %), superan la barrera protectora y se sitúan en riesgo alto ($IR \geq 1$), mientras que viviendas con recubrimientos mayores (2, 6 y 11) muestran profundidades significativamente menores y una condición de riesgo bajo ($IR < 0.50$). La velocidad de carbonatación oscila entre 0.28 y 0.87 cm/año, lo que refleja variabilidad según el material, el ambiente y la antigüedad. El tiempo estimado para que la carbonatación alcance la armadura muestra una separación clara entre viviendas con protección suficiente (más de 30 años, como las viviendas 2 y 6) y aquellas con protección comprometida (menos de 1 año, como las viviendas 7, 8, 10, 14 y 16). Finalmente, los valores de pH carbonatado confirman la pérdida de alcalinidad en las zonas afectadas (pH promedio de 9.86), con mínimos críticos en viviendas de mayor avance del frente de carbonatación ($pH \approx 8.4$). En conjunto, los datos demuestran que, a menor recubrimiento, mayor es la penetración y la velocidad de carbonatación, y que la intemperización ha inducido grados de deterioro heterogéneos pero significativos en varias viviendas evaluadas.

Tabla 11

Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según vivienda

Vivienda	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
1	3.50	2.78	0.72	0.80	79.52%	0.80	18.98	0.80	9.43
2	4.00	1.43	2.57	0.36	35.83%	0.72	31.18	12.85	11.58
3	3.50	2.20	1.30	0.63	62.86%	0.78	20.25	2.79	10.03
4	3.00	1.49	1.51	0.50	49.78%	0.56	28.32	7.17	10.50
5	3.50	2.47	1.03	0.70	70.48%	0.87	16.12	1.41	10.01
6	4.00	1.46	2.54	0.37	36.50%	0.73	30.07	12.14	11.40
7	3.50	3.35	0.15	0.96	95.71%	0.75	21.84	0.04	8.87
8	3.50	2.90	0.60	0.83	82.86%	0.75	21.85	0.64	9.12
9	2.50	1.71	0.79	0.68	68.27%	0.54	21.46	2.16	9.82
10	3.50	2.79	0.71	0.80	79.81%	0.81	18.84	0.77	9.42
11	3.50	1.50	2.00	0.43	42.86%	0.67	27.28	8.93	10.83
12	2.00	1.40	0.60	0.70	69.83%	0.49	16.42	1.50	9.63
13	3.50	2.25	1.25	0.64	64.29%	0.80	19.38	2.48	10.20
14	1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
15	3.00	2.42	0.59	0.81	80.50%	0.70	18.52	0.71	9.33
16	2.70	2.53	0.17	0.94	93.70%	0.61	19.37	0.08	9.01
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Figura 22

Profundidad de recubrimiento y carbonatación en columnas de viviendas en Chota

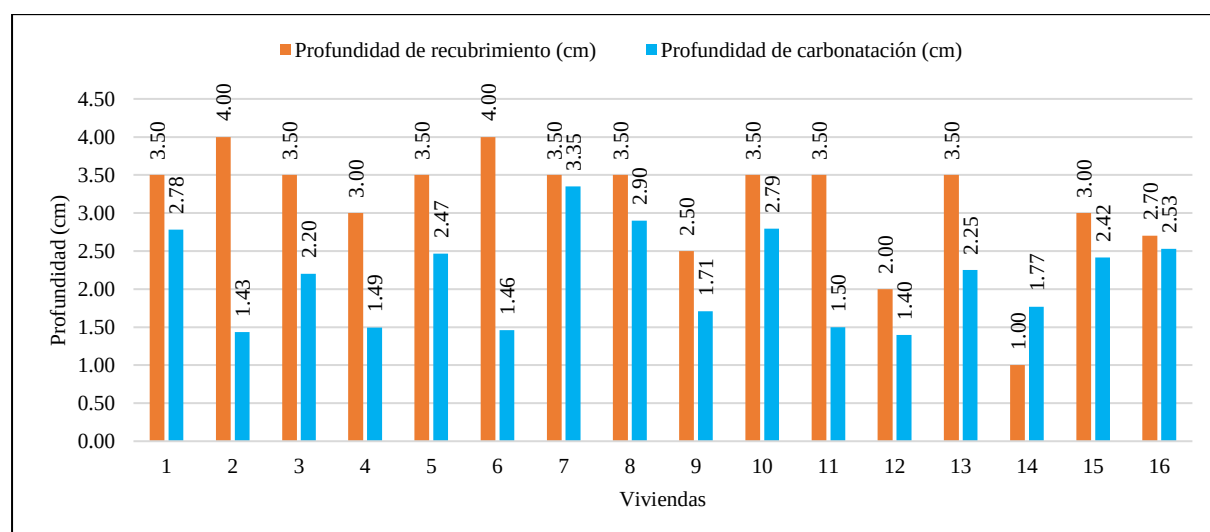


Figura 23

Velocidad de carbonatación del concreto en columnas de viviendas en Chota

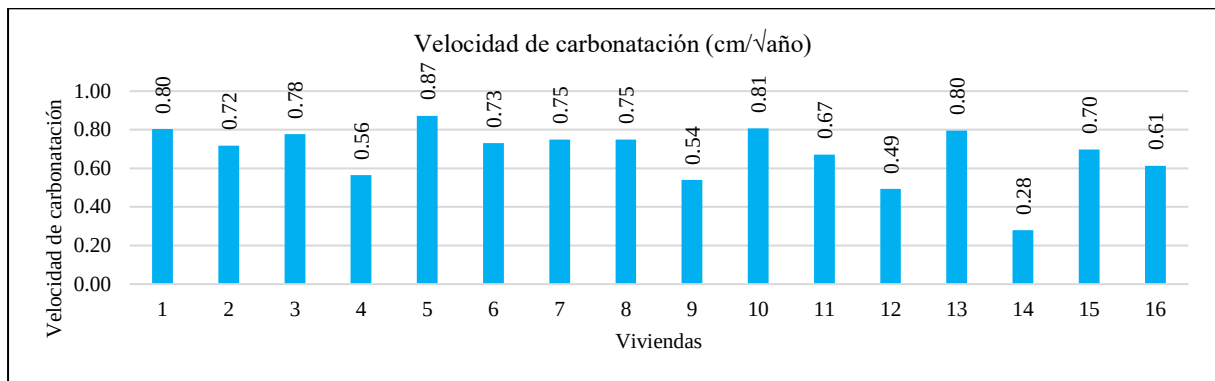


Figura 24

Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado

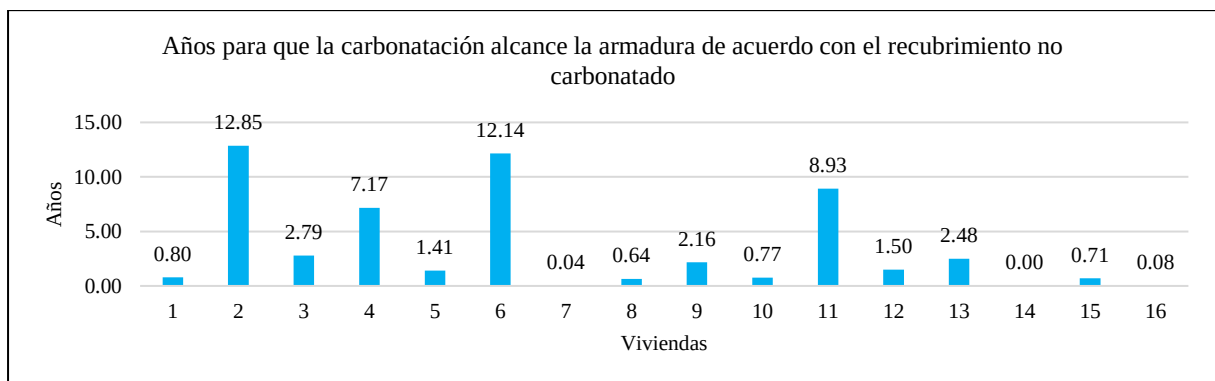
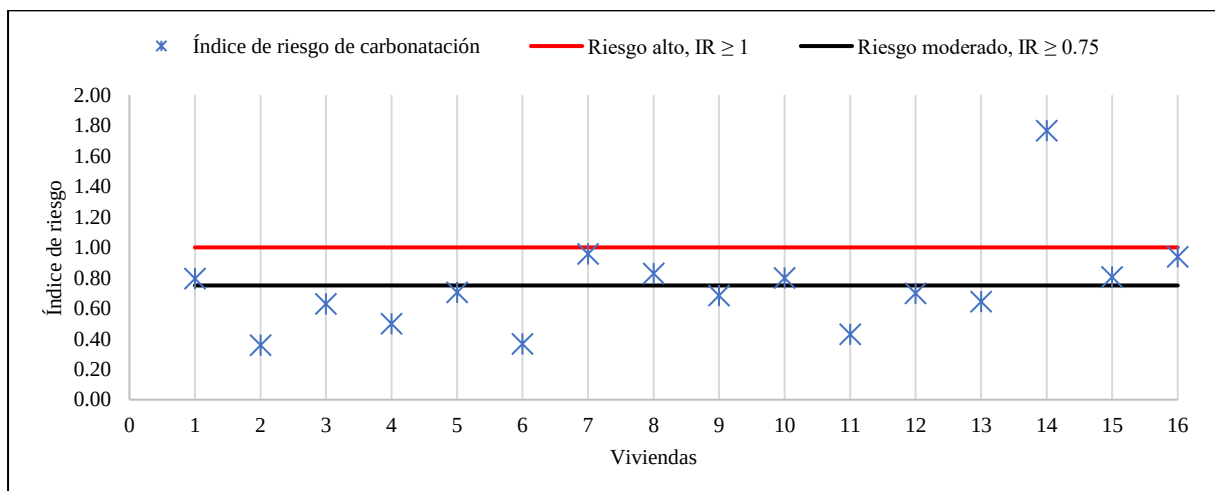


Figura 25

Índice de riesgo de carbonatación en las viviendas en Chota



Los resultados evidencian una relación inversa clara entre el espesor de recubrimiento y la intensidad del proceso de carbonatación. El recubrimiento de 1.00 cm presenta el comportamiento más crítico, con profundidad de carbonatación mayor al recubrimiento (1.77 cm), un índice de riesgo extremo (1.77) y una carbonatación del 176.67%, lo que confirma pérdida total de pasivación ($\text{pH} = 8.43$) y vulnerabilidad inmediata de la armadura. A medida que el recubrimiento aumenta entre 2.00 y 3.50 cm, la carbonatación disminuye, mostrando valores moderados (62%–93%) y una mejora progresiva en la reserva de protección (Δ entre 0.60 y 1.14 cm), con velocidades entre 0.49 y 0.78 cm/ $\sqrt{\text{año}}$, lo que prolonga entre 16 y 24 años el tiempo estimado para alcanzar la armadura. El recubrimiento de 4.00 cm exhibe el desempeño más estable, con el menor porcentaje de carbonatación (36.17%), un índice de riesgo bajo (0.36), la mayor expectativa de protección (30.63 años), y el pH más alto (11.49), coherente con un concreto aun fuertemente alcalino. En conjunto, los valores promedio confirman que, si bien existe carbonatación significativa en la mayoría de espesores evaluados (74.21%), la profundidad media (2.15 cm) todavía se mantiene por debajo del recubrimiento medio (3.14 cm), lo cual indica un riesgo global moderado, pero con condiciones críticas cuando el recubrimiento es ≤ 2.70 cm.

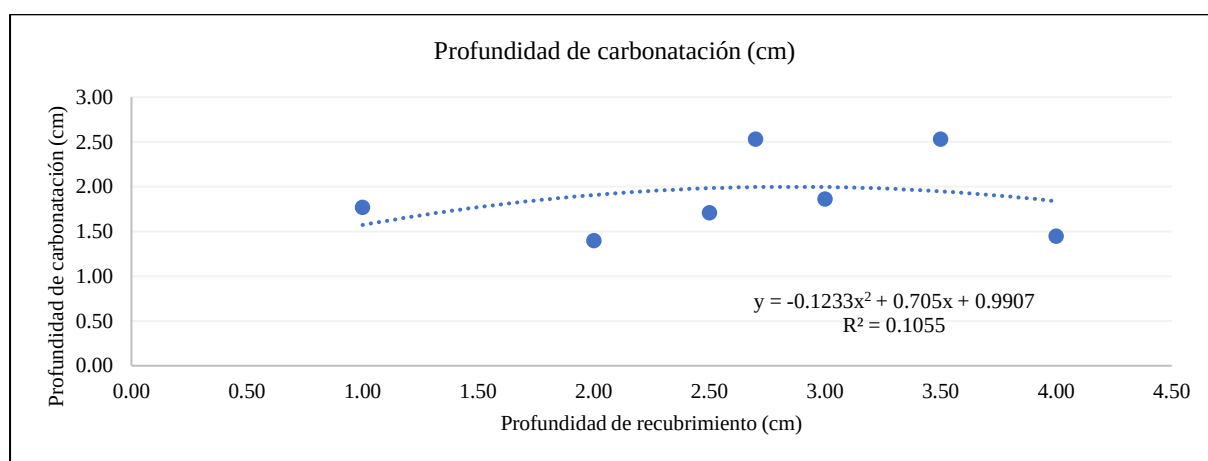
Tabla 12

Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según espesor de recubrimiento

Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
2.00	1.40	0.60	0.70	69.83%	0.49	16.42	1.50	9.63
2.50	1.71	0.79	0.68	68.27%	0.54	21.46	2.16	9.82
2.70	2.53	0.17	0.94	93.70%	0.61	19.37	0.08	9.01
3.00	1.86	1.14	0.62	62.07%	0.62	24.40	4.58	10.03
3.50	2.53	0.97	0.72	72.30%	0.78	20.57	2.23	9.74
4.00	1.45	2.55	0.36	36.17%	0.72	30.63	12.49	11.49
Total	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Figura 26

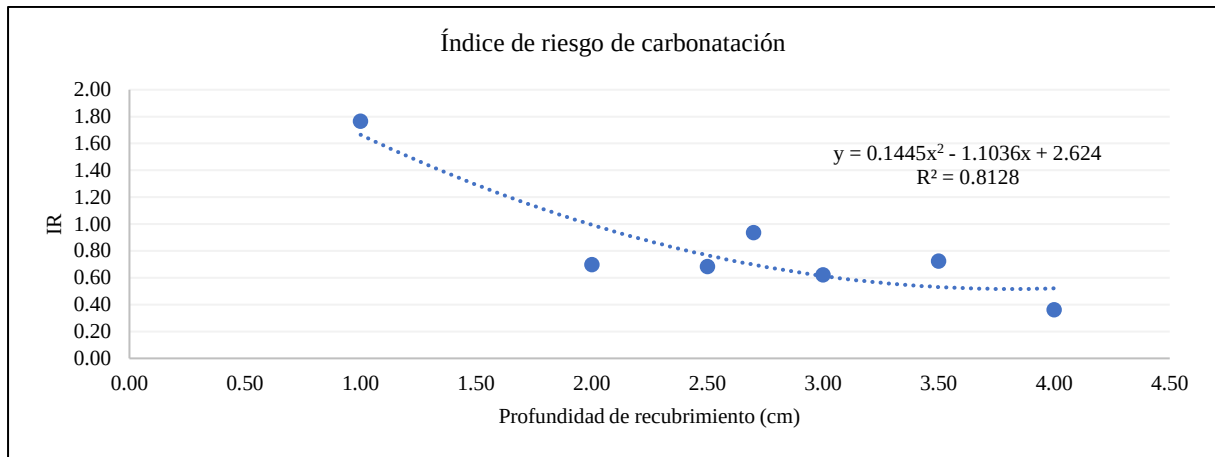
Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y la profundidad de carbonatación (cm)



Nota. La Figura muestra que la profundidad de carbonatación presenta variaciones no lineales respecto al espesor de recubrimiento, sin una tendencia clara de incremento o reducción ($R^2 = 0.1055$). Esto indica que, en las viviendas evaluadas, la profundidad de carbonatación está más influenciada por condiciones de exposición, calidad del concreto y antigüedad, antes que por el espesor de recubrimiento. El comportamiento disperso sugiere heterogeneidad constructiva típica de viviendas autoconstruidas en Chota.

Figura 27

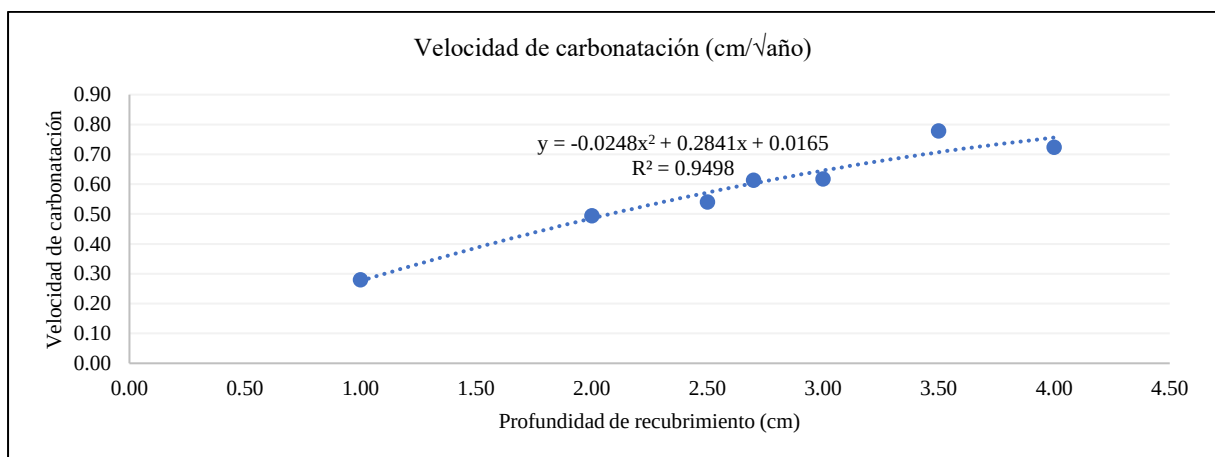
Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y el índice de carbonatación



Nota. El índice de riesgo disminuye a medida que aumenta el recubrimiento, alcanzando un ajuste adecuado ($R^2 = 0.8128$). Los recubrimientos mayores a 3.0 cm reducen la probabilidad de que el frente carbonatado alcance la armadura, mientras que recubrimientos ≤ 2.0 cm mantienen la estructura en zona de riesgo medio a alto.

Figura 28

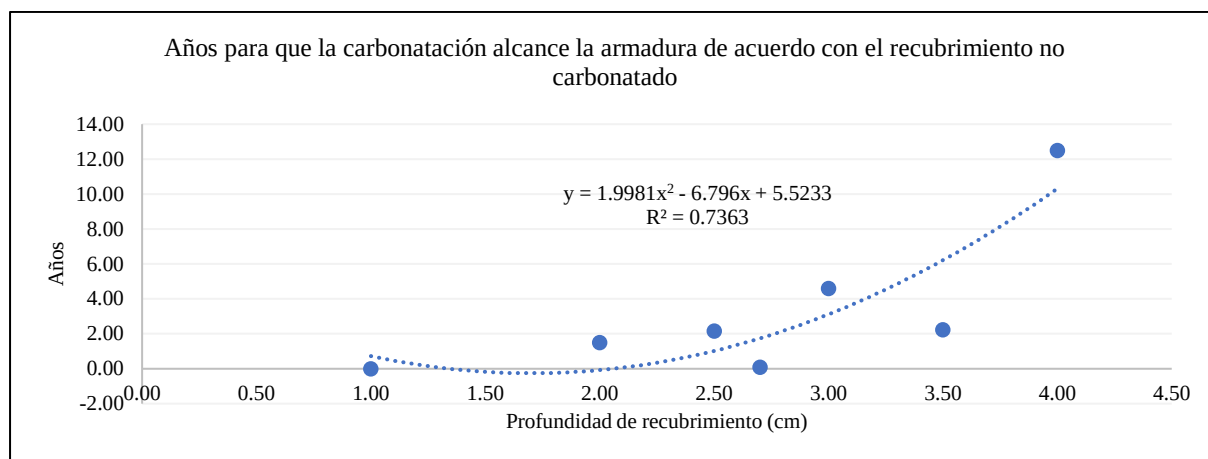
Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y la velocidad de carbonatación



Nota. La velocidad de carbonatación aumenta ligeramente cuando el recubrimiento es mayor ($R^2 = 0.9498$), lo que refleja que el frente carbonatado avanza con mayor rapidez en concretos con menor densidad sin importar el espesor de recubrimiento. Aunque un recubrimiento mayor protege mejor a la armadura, no implica menor velocidad de avance, ya que esta depende de la calidad del concreto y las condiciones de intemperización.

Figura 29

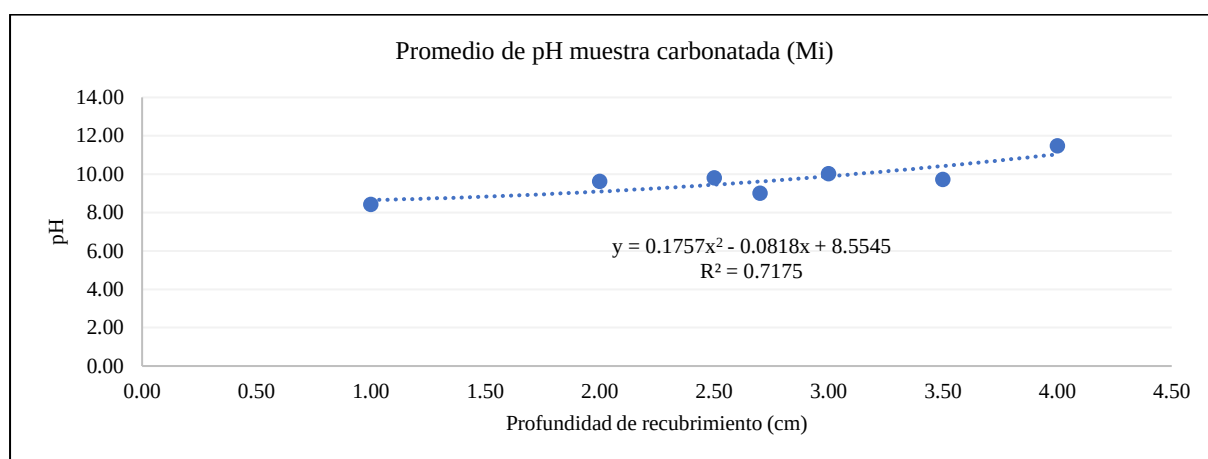
Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y el tiempo que la carbonatación tardará en alcanzar a la armadura



Nota. El tiempo de servicio restante aumenta con el espesor de recubrimiento ($R^2 = 0.7363$). Con recubrimientos de 3.0–4.0 cm, la estructura aún dispone de entre 2 y 12 años adicionales antes de que la carbonatación alcance el acero, mientras que recubrimientos de 1.0–2.0 cm presentan virtualmente cero años de vida útil remanente, indicando alto riesgo. Esto confirma la sensibilidad del modelo frente al espesor protector del concreto.

Figura 30

Gráfico de regresión entre la profundidad de recubrimiento (cm) y el pH carbonatado



Nota. El pH aumenta ligeramente cuando el recubrimiento es mayor ($R^2 = 0.7175$), lo que evidencia que recubrimientos más delgados se asocian a pérdidas mayores de alcalinidad producto de la carbonatación. En recubrimientos ≥ 3.0 cm, los valores de pH se mantienen cercanos al umbral de pasivación (≈ 9.5 –11), mientras que recubrimientos de 1.0 cm muestran pH críticos (< 9), compatibles con riesgo de corrosión activa.

Los resultados muestran que las columnas clasificadas con pH ligeramente alcalino presentan mayor avance de carbonatación (2.25 cm) y un índice de riesgo alto ($IR = 0.80$), con un porcentaje de recubrimiento afectado cercano al 80 %. En contraste, las columnas con pH moderadamente alcalino mantienen menor profundidad de carbonatación (1.45 cm) y un riesgo significativamente reducido ($IR = 0.36$), lo que evidencia que la pérdida de alcalinidad acelera el deterioro por carbonatación. Asimismo, las columnas con pH más bajo requieren menos tiempo para que el frente carbonatado alcance la armadura, confirmando que la reducción del pH es un indicador directo del avance del proceso de despasivación del refuerzo.

Se observa que el pH del concreto carbonatado disminuye progresivamente conforme aumenta la profundidad de carbonatación, generando pérdidas de alcalinidad entre 4.5 % y 26 %. Para profundidades ≥ 2.5 cm, la reducción de pH supera el 20 %, situando al concreto en rangos críticos para la protección del acero. La diferencia entre el pH carbonatado (M_i) y el no carbonatado (M_{ii}) alcanza valores de hasta 3.12 unidades, indicando un proceso avanzado de despasivación. En conjunto, estos resultados confirman que la profundidad del frente carbonatado y la pérdida de alcalinidad mantienen una relación directa y consistente, lo cual evidencia un deterioro progresivo de la capacidad protectora del recubrimiento frente a la corrosión del refuerzo.

Tabla 13

Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización según categoría del pH

Categoría del pH en el área carbonatada de la columna	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
Ligeramente alcalino	3.01	2.25	0.76	0.80	79.78%	0.67	20.18	2.14	9.62
Moderadamente alcalino	4.00	1.45	2.55	0.36	36.17%	0.72	30.63	12.49	11.49
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Figura 31

pH del concreto en el área carbonatada y no carbonatada de acuerdo con la profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización

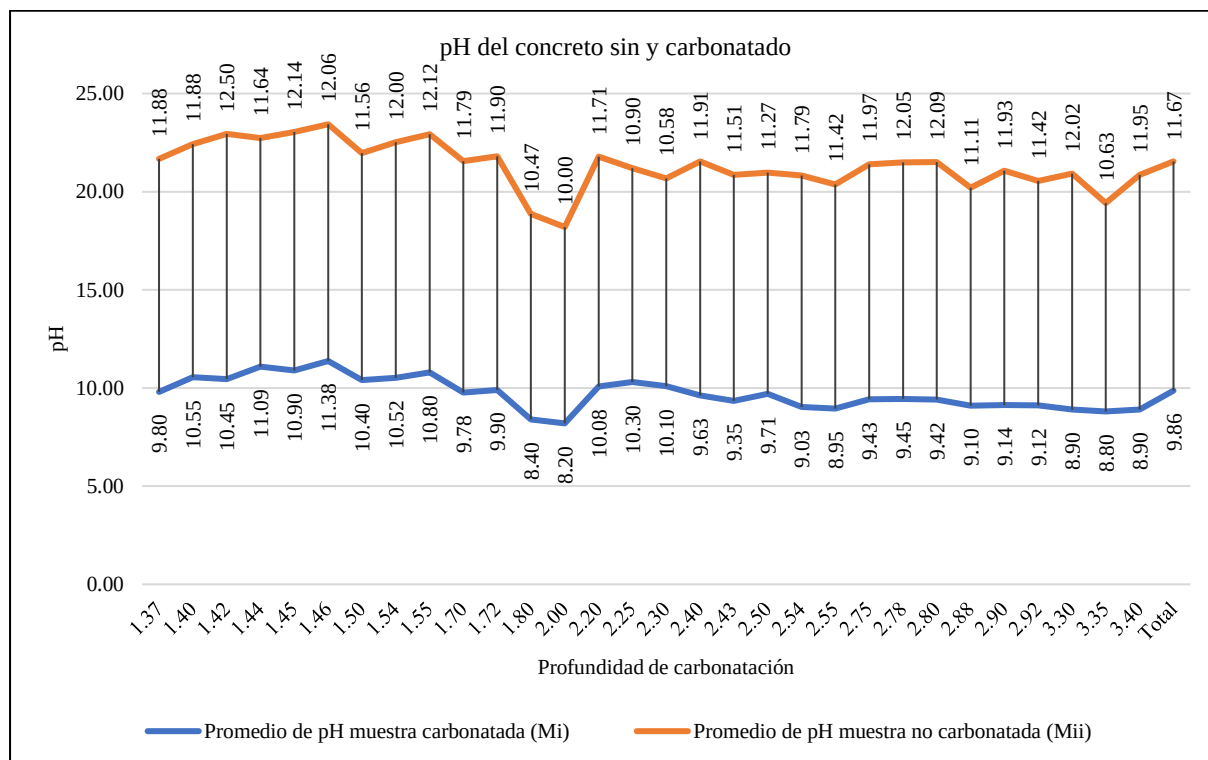


Tabla 14

pH del concreto en el área carbonatada y no carbonatada de acuerdo con la profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado expuestas a intemperización

Profundidad de carbonatación	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)	Promedio de pH muestra no carbonatada (Mii)	Δ pH	Porcentaje de pérdida de pH
1.37	9.80	11.88	2.08	17.51%
1.40	10.55	11.88	1.33	11.20%
1.42	10.45	12.50	2.05	16.37%
1.44	11.09	11.64	0.55	4.68%
1.45	10.90	12.14	1.24	10.21%
1.46	11.38	12.06	0.68	5.68%
1.50	10.40	11.56	1.16	10.03%
1.54	10.52	12.00	1.48	12.33%
1.55	10.80	12.12	1.32	10.89%
1.70	9.78	11.79	2.01	17.06%
1.72	9.90	11.90	2.00	16.81%
1.80	8.40	10.47	2.07	19.77%
2.00	8.20	10.00	1.80	18.00%
2.20	10.08	11.71	1.63	13.94%
2.25	10.30	10.90	0.60	5.50%
2.30	10.10	10.58	0.48	4.54%
2.40	9.63	11.91	2.29	19.19%
2.43	9.35	11.51	2.16	18.77%
2.50	9.71	11.27	1.56	13.87%
2.54	9.03	11.79	2.76	23.41%
2.55	8.95	11.42	2.47	21.63%
2.75	9.43	11.97	2.54	21.22%
2.78	9.45	12.05	2.60	21.58%
2.80	9.42	12.09	2.68	22.12%
2.88	9.10	11.11	2.01	18.09%
2.90	9.14	11.93	2.79	23.39%
2.92	9.12	11.42	2.30	20.14%
3.30	8.90	12.02	3.12	25.96%
3.35	8.80	10.63	1.83	17.22%
3.40	8.90	11.95	3.05	25.52%
Total	9.86	11.67	1.81	15.51%

4.1.2. Efecto de la carbonatación en la resistencia a compresión del concreto

Los coeficientes de correlación obtenidos evidencian que la resistencia a compresión del concreto presenta relación inversa muy marcada con los indicadores de carbonatación en las columnas evaluadas. La antigüedad de las edificaciones muestra una correlación negativa muy fuerte con la resistencia ($r = -0.988$), lo cual confirma que el avance del tiempo favorece la progresión del frente carbonatado y, consecuentemente, la pérdida de capacidad mecánica del concreto. Esta misma tendencia se observa en la relación entre resistencia y el porcentaje de recubrimiento carbonatado ($r = -0.975$), así como con el índice de riesgo de carbonatación (x_c/R), que también presenta correlación negativa muy fuerte ($r = -0.975$). El deterioro superficial producido por la intemperización afecta de manera directa la integridad del recubrimiento y disminuye progresivamente la resistencia del material.

Asimismo, la profundidad de carbonatación se correlaciona negativamente con la resistencia ($r = -0.683$), lo cual indica que, a medida que el frente carbonatado penetra con mayor profundidad en la sección, el concreto pierde capacidad mecánica. De forma complementaria, la diferencia entre recubrimiento y carbonatación (Δ) registra correlación positiva muy fuerte ($r = 0.953$), las columnas que conservan mayor recubrimiento efectivo, es decir, menor deterioro, presentan resistencias superiores.

Otro aspecto relevante es la relación entre el pH y la resistencia. El pH del concreto carbonatado muestra correlación positiva muy fuerte con la resistencia ($r = 0.981$), lo que implica que la disminución del pH, consecuencia directa de la carbonatación, se asocia con la reducción de la resistencia a compresión. Esto confirma que la pérdida de alcalinidad no solo favorece la corrosión del acero, sino que también se convierte en un indicador directo del deterioro mecánico del concreto.

Tabla 15

Coefficientes de correlación de la resistencia a compresión y la carbonatación en columnas de concreto armado

Correlaciones	N° Vivieda	Antigüedad	Profundidad de recubrimiento	Profundidad de carbonatación	Δ Diferencia	Porcentaje de carbonatación	Velocidad de carbonatación	Años para que la carbonatación consuma el recubrimiento	Años para que la carbonatación consuma el área no carbonatada	pH muestra carbonatada	pH muestra no carbonatada	Resistencia a compresión gráfica
Antigüedad	0.419	1.000										
Profundidad de recubrimiento	-0.590	-0.495	1.000									
Profundidad de carbonatación	0.020	0.711	0.105	1.000								
Δ Diferencia	-0.535	-0.938	0.627	-0.554	1.000							
Porcentaje de carbonatación	0.439	0.974	-0.500	0.700	-0.969	1.000						
Velocidad de carbonatación	-0.429	-0.063	0.684	0.575	0.206	-0.039	1.000					
Años para que la carbonatación consuma el recubrimiento	-0.412	-0.511	0.530	-0.273	0.628	-0.605	-0.110	1.000				
Años para que la carbonatación consuma el área no carbonatada	-0.449	-0.969	0.495	-0.699	0.968	-0.999	0.028	0.619	1.000			
pH muestra carbonatada	-0.446	-0.980	0.544	-0.647	0.971	-0.979	0.130	0.551	0.975	1.000		
pH muestra no carbonatada	-0.518	-0.476	0.541	-0.128	0.528	-0.496	0.266	0.416	0.496	0.470	1.000	
Resistencia a compresión gráfica	-0.463	-0.988	0.523	-0.683	0.953	-0.975	0.098	0.527	0.971	0.981	0.499	1.000
Resistencia a compresión corregida	-0.463	-0.988	0.523	-0.683	0.953	-0.975	0.098	0.527	0.971	0.981	0.499	1.000

a) Resistencia a compresión de las columnas en las viviendas.

Las viviendas con mayor resistencia promedio (Viviendas 2, 6, 11 y 4), cuyos valores corregidos superan los 189–215 kg/cm², coinciden con índices de riesgo bajos a moderados y profundidades de carbonatación relativamente menores respecto a su recubrimiento, lo que preserva la alcalinidad y el desempeño mecánico del concreto. En contraste, la Vivienda 14, con la resistencia más baja (101.43 kg/cm² corregida), presenta el porcentaje más crítico de carbonatación debido a un recubrimiento insuficiente (1 cm). De forma general, el f'_c corregido promedio (169.91 kg/cm²) representa solo el 80.91% del valor esperado, evidenciando que la carbonatación ha generado una pérdida significativa de capacidad resistente en la mayoría de viviendas, especialmente en aquellas donde la profundidad de carbonatación supera el 70% del recubrimiento disponible.

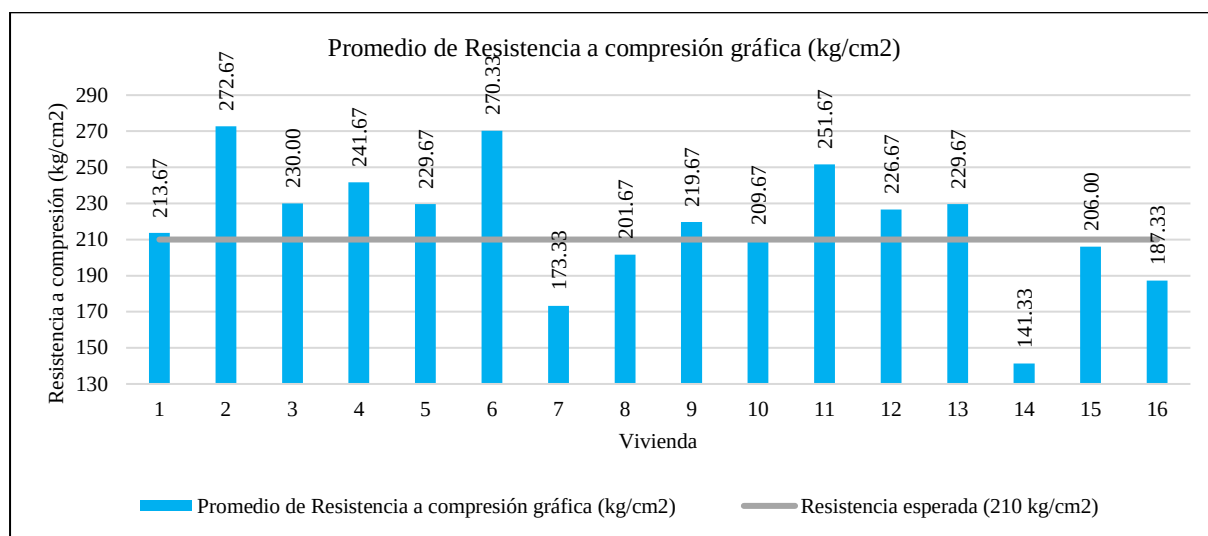
Tabla 16

Resistencia a compresión del concreto en las columnas de las viviendas

Vivienda	Promedio de Resistencia a compresión gráfica (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'_c esperado respecto a la resistencia a compresión gráfica	Promedio de Resistencia a compresión corregida (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'_c esperado respecto a la resistencia a compresión corregida
1	213.67	101.75%	165.40	78.76%
2	272.67	129.84%	215.90	102.81%
3	230.00	109.52%	179.18	85.32%
4	241.67	115.08%	189.11	90.05%
5	229.67	109.37%	178.90	85.19%
6	270.33	128.73%	213.86	101.84%
7	173.33	82.54%	129.31	61.58%
8	201.67	96.03%	155.35	73.97%
9	219.67	104.60%	170.44	81.16%
10	209.67	99.84%	162.05	77.17%
11	251.67	119.84%	197.69	94.14%
12	226.67	107.94%	176.35	83.98%
13	229.67	109.37%	178.89	85.18%
14	141.33	67.30%	101.43	48.30%
15	206.00	98.10%	158.99	75.71%
16	187.33	89.21%	142.11	67.67%
Total	219.34	104.45%	169.91	80.91%

Figura 32

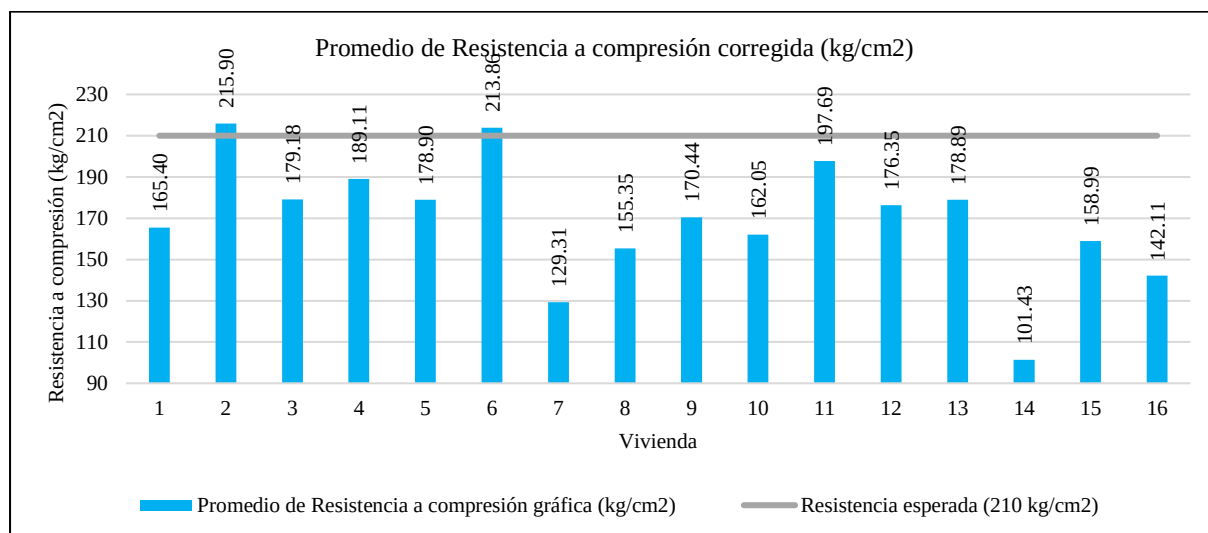
Promedio de resistencia a compresión gráfica por vivienda



Nota. Los resultados muestran variabilidad significativa de la resistencia a compresión entre viviendas, con valores que oscilan entre 141.33 kg/cm² (V14) y 272.67 kg/cm² (V2). En conjunto, el promedio global (219.34 kg/cm²) supera ligeramente el valor de referencia, aunque varios casos caen por debajo del límite estructural.

Figura 33

Promedio de resistencia a compresión corregida por vivienda



Nota. Al aplicar la corrección normativa, las resistencias disminuyen en todos los casos, permitiendo una lectura más realista del desempeño mecánico. Viviendas como V2 y V6 mantienen resistencias corregidas superiores a 210 kg/cm², lo que está alineado con su menor grado de carbonatación y mejores condiciones de recubrimiento. El promedio global corregido (169.91 kg/cm²) se sitúa 20% por debajo del valor esperado.

b) Resistencia a compresión de las columnas según la antigüedad de las viviendas.

Los resultados evidencian una relación claramente inversa entre la antigüedad de la edificación y la resistencia del concreto. Las viviendas más recientes (4 a 8 años) presentan resistencias gráficas elevadas, entre 229 y 272 kg/cm², superando incluso el f'_c esperado (210 kg/cm²), lo que indica un menor nivel de deterioro asociado a procesos de carbonatación incipientes. A partir de los 10 años, la resistencia corregida muestra una disminución progresiva vinculada al avance del frente de carbonatación, alcanzando valores críticos en edificaciones de 20 y 40 años, donde las resistencias corregidas descienden a 129.31 y 101.43 kg/cm², respectivamente. Esta tendencia confirma que la pérdida de capacidad mecánica del concreto aumenta con el tiempo de exposición a la intemperie, favorecida por recubrimientos insuficientes y la reducción del pH en la zona carbonatada. En conjunto, la evolución decreciente de la resistencia estructural con la antigüedad valida que la carbonatación constituye un mecanismo dominante de degradación en las viviendas evaluadas en Chota.

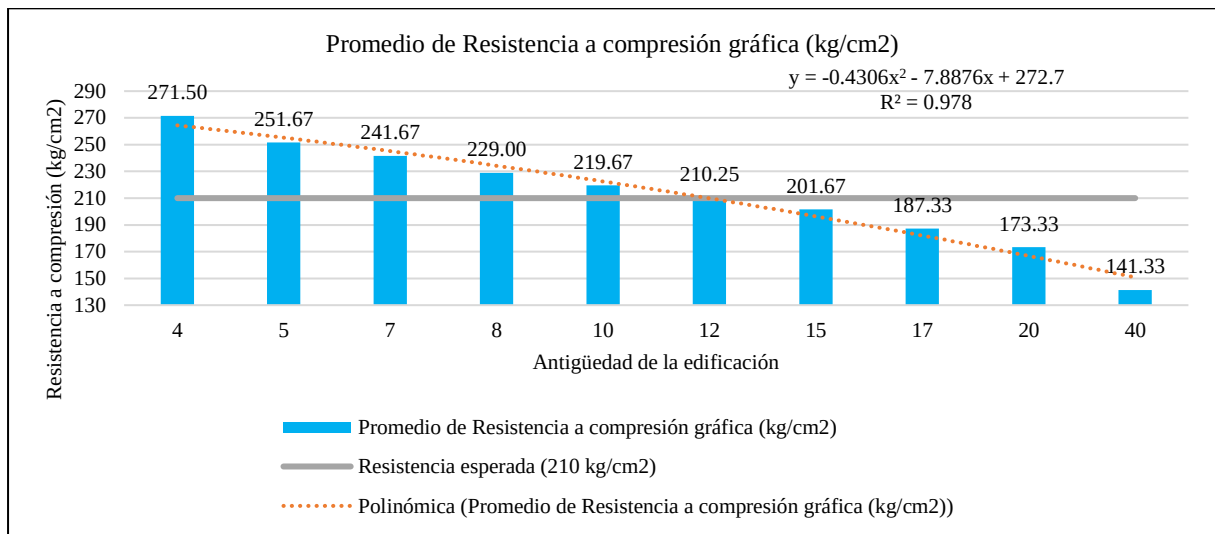
Tabla 17

Resistencia a compresión del concreto en las columnas según antigüedad de las viviendas

Antigüedad de la edificación	Promedio de Resistencia a compresión gráfica (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'_c esperado respecto a la resistencia a compresión gráfica	Promedio de Resistencia a compresión corregida (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'_c esperado respecto a la resistencia a compresión corregida
4	271.50	129.29%	214.88	102.32%
5	251.67	119.84%	197.69	94.14%
7	241.67	115.08%	189.11	90.05%
8	229.00	109.05%	178.33	84.92%
10	219.67	104.60%	170.44	81.16%
12	210.25	100.12%	162.54	77.40%
15	201.67	96.03%	155.35	73.97%
17	187.33	89.21%	142.11	67.67%
20	173.33	82.54%	129.31	61.58%
40	141.33	67.30%	101.43	48.30%
Total	219.34	104.45%	169.91	80.91%

Figura 34

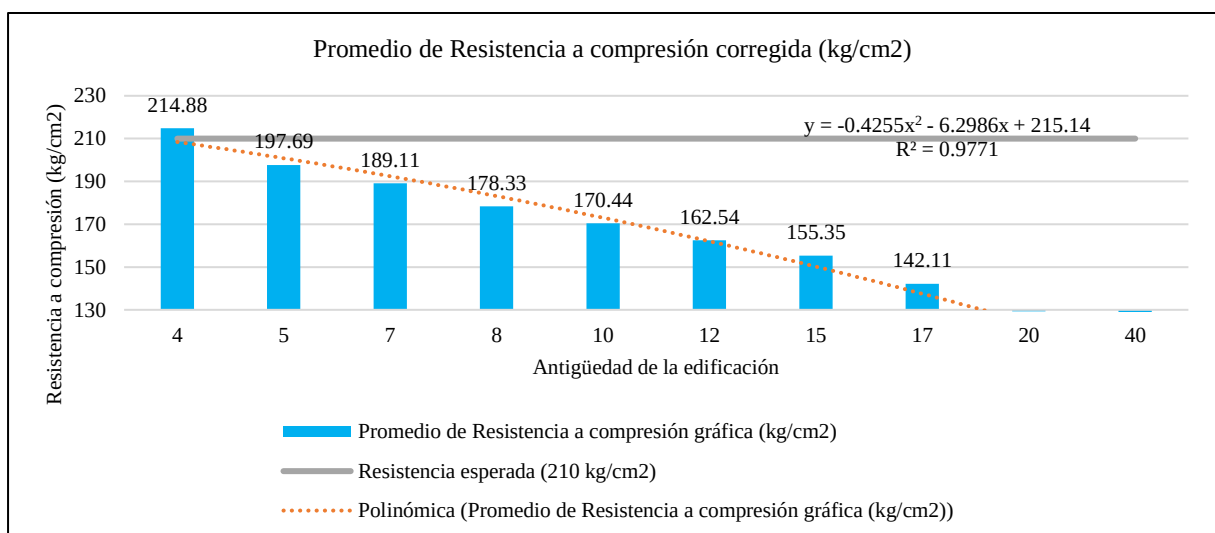
Promedio de resistencia a compresión gráfica vs. antigüedad de la edificación



Nota. Tendencia claramente decreciente de la resistencia a compresión conforme aumenta la antigüedad de la edificación. Las edificaciones entre 4 y 7 años aún presentan resistencias superiores a 230 kg/cm², mientras que las más antiguas (20 y 40 años) caen a valores críticos de 173.33 y 141.33 kg/cm², respectivamente. El modelo polinómico presenta un $R^2 = 0.978$, lo que indica un nivel de ajuste excelente.

Figura 35

Promedio de resistencia a compresión corregida vs. antigüedad de la edificación



Nota. Las edificaciones más recientes mantienen resistencias por encima del valor esperado (210 kg/cm²), destacando valores como 214.88 kg/cm² a los 4 años, mientras que las más antiguas caen a niveles inferiores al 65% de la resistencia esperada. El $R^2 = 0.9771$ confirma un ajuste estadístico muy fuerte.

c) Resistencia a compresión de las columnas según profundidad de recubrimiento.

La resistencia a compresión del concreto aumenta conforme se incrementa la profundidad de recubrimiento, lo cual es consistente con un menor nivel de deterioro frente al avance de la carbonatación. En recubrimientos reducidos (1.00 cm), la resistencia gráfica cae a 141.33 kg/cm² y la corregida a 101.43 kg/cm², representando solo el 67.30% y 48.30% del f'_c esperado, evidenciando una pérdida significativa de capacidad mecánica asociada a la baja protección frente a agentes carbonatantes. A partir de 2.00 cm de recubrimiento, las resistencias se recuperan y superan el f'_c (210 kg/cm²), alcanzando valores superiores a 220 kg/cm² para recubrimientos entre 2.50 y 3.50 cm. El mejor desempeño se observa con recubrimientos de 4.00 cm, donde la resistencia gráfica llega a 271.50 kg/cm² (129.29% del f'_c) y la resistencia corregida a 214.88 kg/cm² (102.32%), lo cual confirma que una mayor capa de recubrimiento reduce la penetración del frente carbonatado y preserva la integridad del concreto.

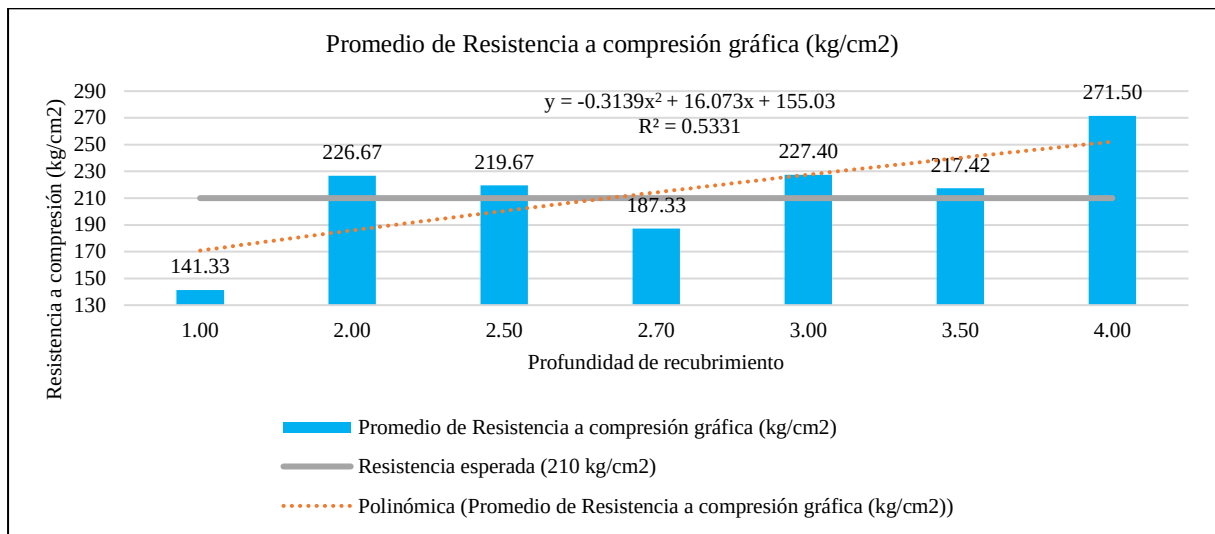
Tabla 18

Resistencia a compresión del concreto de acuerdo con la profundidad de recubrimiento de las columnas

Profundidad de recubrimiento	Promedio de Resistencia a compresión gráfica (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'_c esperado respecto a la resistencia a compresión gráfica	Promedio de Resistencia a compresión corregida (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'_c esperado respecto a la resistencia a compresión corregida
1.00	141.33	67.30%	101.43	48.30%
2.00	226.67	107.94%	176.35	83.98%
2.50	219.67	104.60%	170.44	81.16%
2.70	187.33	89.21%	142.11	67.67%
3.00	227.40	108.29%	177.06	84.31%
3.50	217.42	103.53%	168.34	80.16%
4.00	271.50	129.29%	214.88	102.32%
Total	219.34	104.45%	169.91	80.91%

Figura 36

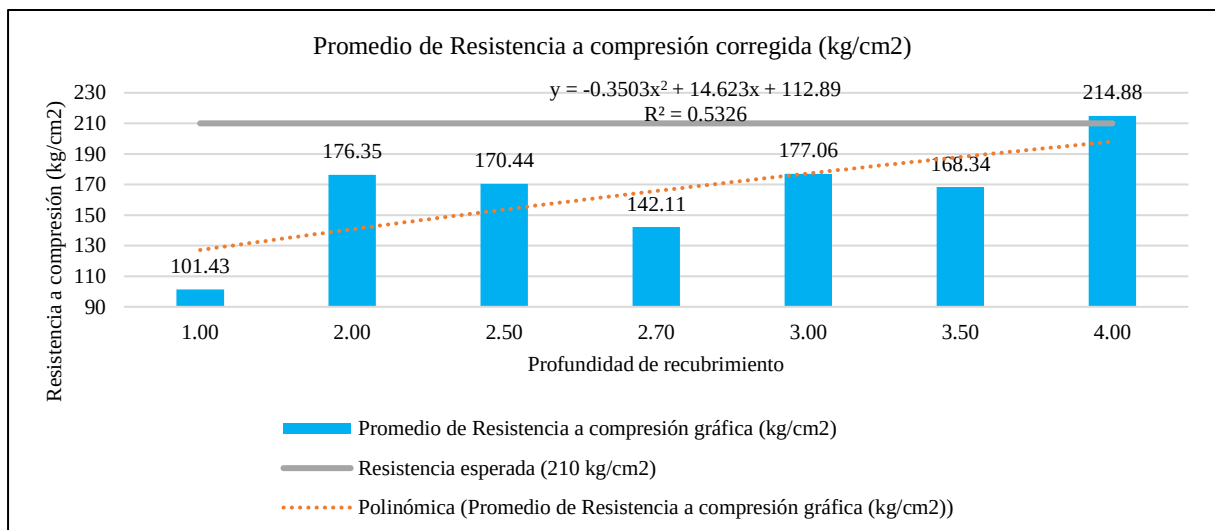
Resistencia a compresión gráfica vs. profundidad de recubrimiento



Nota. La gráfica evidencia relación positiva entre la resistencia y el aumento del recubrimiento. Las columnas con recubrimientos pequeños (1.00 cm) presentan resistencias bajas (141.33 kg/cm²), mientras que aquellas con recubrimientos de 4.00 cm alcanzan resistencias superiores a 271.50 kg/cm². El ajuste polinómico presenta $R^2 = 0.5331$, lo que indica que solo el 53% de la variación de la resistencia gráfica se explica por el recubrimiento.

Figura 37

Resistencia a compresión corregida vs. profundidad de recubrimiento



Nota. Para 1.00 cm, la resistencia corregida es crítica (101.43 kg/cm²), mientras que con 4.00 cm asciende a 214.88 kg/cm², superando incluso la resistencia esperada. El modelo presenta $R^2 = 0.5326$, similar al caso anterior: el recubrimiento explica aproximadamente el 53% del comportamiento mecánico, relación moderada.

d) Categoría de la resistencia a compresión y carbonatación.

La resistencia a compresión disminuye conforme la carbonatación avanza y reduce la alcalinidad del concreto, manifestándose con mayor severidad en columnas con recubrimientos menores. Las categorías de resistencia muy baja y baja presentan los mayores niveles de afectación, con profundidades de carbonatación elevadas (1.77–2.94 cm), índices de riesgo críticos (IR entre 0.95 y 1.77) y pérdidas de pH significativas, reflejando una protección reducida del recubrimiento. En contraste, las columnas clasificados con resistencia alta y muy alta muestran los menores valores de carbonatación (1.45–1.50 cm) y un riesgo notablemente inferior (IR entre 0.36 y 0.46), asociado a recubrimientos más amplios (3.30–4.00 cm) y mayor alcalinidad. Esto confirma que el espesor de recubrimiento y la calidad del concreto influyen directamente en el avance del frente carbonatado y en la disminución de resistencia, siendo las columnas con materiales de menor resistencia mecánica las más vulnerables al deterioro prematuro.

Tabla 19

Tasa y profundidad de carbonatación en columnas de concreto armado de acuerdo con la resistencia a compresión del concreto

Categoría de resistencia a compresión del concreto	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/ $\sqrt{\text{año}}$)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
Muy baja	1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
Baja	3.10	2.94	0.16	0.95	94.71%	0.68	20.60	0.06	8.94
Moderada	3.41	2.75	0.66	0.81	80.69%	0.77	19.64	0.73	9.32
Media-alta	3.00	1.97	1.03	0.66	66.07%	0.69	19.30	2.38	9.97
Alta	3.30	1.50	1.80	0.46	45.58%	0.63	27.76	8.26	10.70
Muy alta	4.00	1.45	2.55	0.36	36.17%	0.72	30.63	12.49	11.49
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

e) Profundidad de carbonatación y resistencia a compresión.

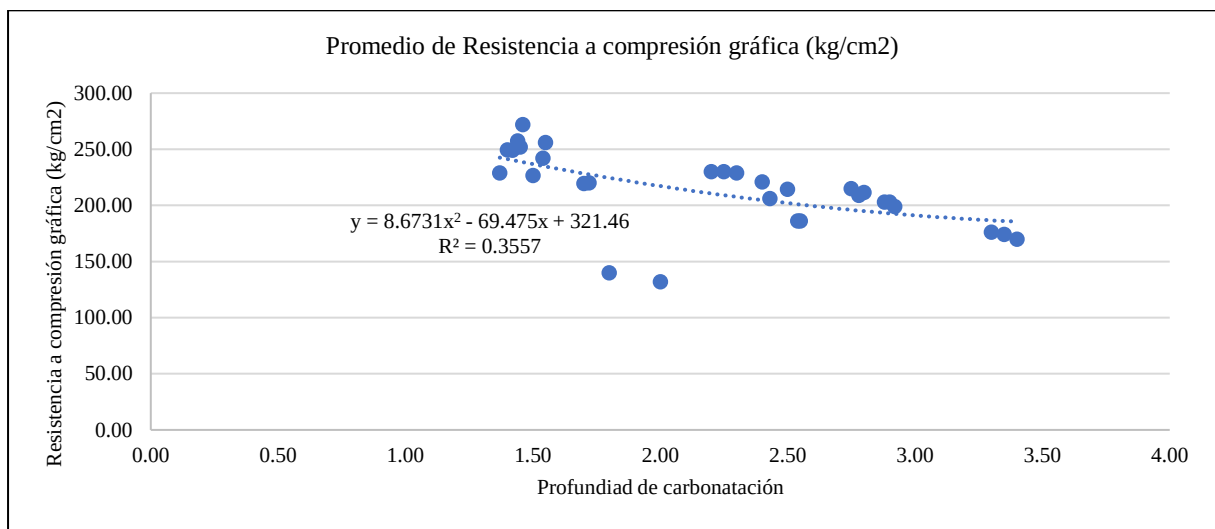
La resistencia a compresión del concreto disminuye progresivamente conforme aumenta la profundidad de carbonatación, evidenciando la pérdida de capacidad mecánica asociada a la despasivación del acero y la reducción del pH. Para profundidades menores a 1.55 cm, la resistencia gráfica oscila entre 229 y 272 kg/cm², manteniendo porcentajes de cumplimiento superiores al 115 %, lo que indica un concreto aún con buen desempeño estructural. Sin embargo, a partir de profundidades cercanas a 1.80 cm, la resistencia corregida cae abruptamente hasta valores críticos de 100.24–93.56 kg/cm², representando apenas el 44–48 % del f'_c esperado, lo que evidencia un deterioro significativo. En profundidades superiores a 2.50 cm, si bien algunas columnas exhiben resistencias moderadas (160–170 kg/cm²), el porcentaje de cumplimiento cae por debajo del 80%, confirmando una afectación mecánica avanzada. En conjunto, la tendencia confirma que el avance del frente carbonatado está directamente relacionado con la pérdida de resistencia, siendo la zona más afectada aquella donde el recubrimiento ha sido insuficiente para limitar la penetración del CO₂.

Tabla 20*Profundidad de carbonatación y resistencia a la compresión del concreto en columnas*

Profundidad de carbonatación	Promedio de resistencia a la compresión gráfica (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'c esperado respecto a la resistencia a compresión gráfica	Promedio de resistencia a compresión corregida (kg/cm ²)	Promedio de Porcentaje que representa el f'c esperado respecto a la resistencia a compresión corregida
1.37	229.00	109.05%	178.32	84.92%
1.40	249.50	118.81%	195.97	93.32%
1.42	249.00	118.57%	195.58	93.13%
1.44	257.50	122.62%	202.77	96.56%
1.45	252.00	120.00%	197.97	94.27%
1.46	272.00	129.52%	215.32	102.53%
1.50	226.50	107.86%	175.70	83.67%
1.54	242.00	115.24%	189.39	90.19%
1.55	256.00	121.90%	201.42	95.91%
1.70	219.50	104.52%	170.30	81.10%
1.72	220.00	104.76%	170.72	81.30%
1.80	140.00	66.67%	100.24	47.73%
2.00	132.00	62.86%	93.56	44.55%
2.20	230.00	109.52%	179.18	85.32%
2.25	230.00	109.52%	179.17	85.32%
2.30	229.00	109.05%	178.32	84.92%
2.40	221.00	105.24%	171.63	81.73%
2.43	206.00	98.10%	158.99	75.71%
2.50	214.33	102.06%	165.67	78.89%
2.54	186.00	88.57%	140.88	67.08%
2.55	186.00	88.57%	140.88	67.08%
2.75	215.00	102.38%	166.52	79.29%
2.78	209.00	99.52%	161.49	76.90%
2.80	211.50	100.71%	163.59	77.90%
2.88	203.00	96.67%	156.49	74.52%
2.90	203.00	96.67%	156.49	74.52%
2.92	199.00	94.76%	153.05	72.88%
3.30	176.00	83.81%	131.72	62.72%
3.35	174.00	82.86%	129.91	61.86%
3.40	170.00	80.95%	126.31	60.15%
Total	219.34	104.45%	169.91	80.91%

Figura 38

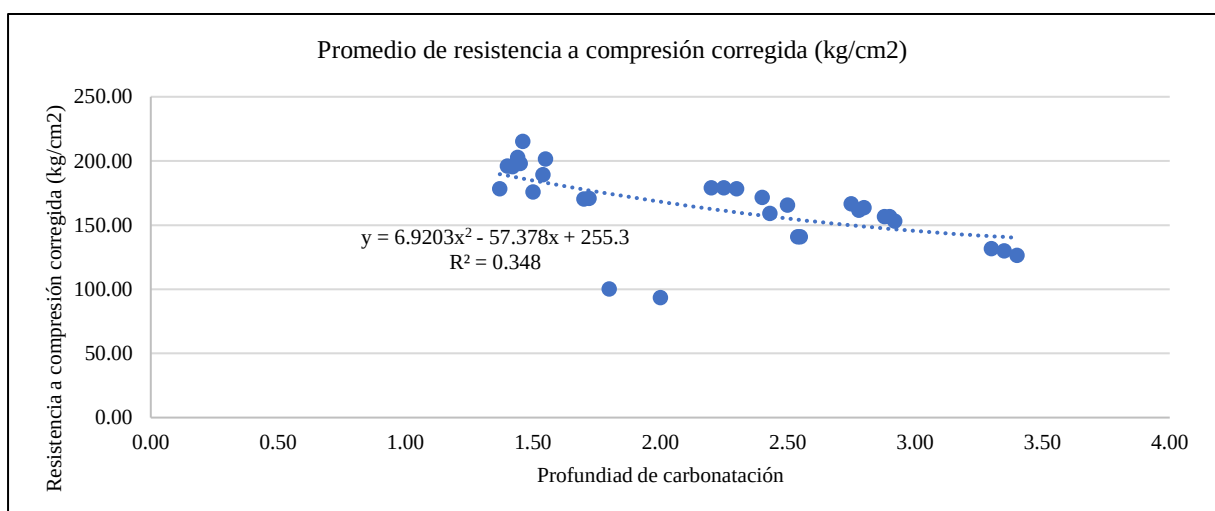
Promedio de resistencia a compresión gráfica vs. profundidad de carbonatación



Nota. Tendencia decreciente de la resistencia a compresión gráfica a medida que aumenta la profundidad de carbonatación, con regresión moderada ($R^2 = 0.3557$). Entre 1.37 y 1.55 cm de carbonatación se registran las resistencias más altas (229–272 kg/cm²), mientras que profundidades superiores a 2.50 cm presentan descensos progresivos, llegando a valores mínimos alrededor de 170 kg/cm².

Figura 39

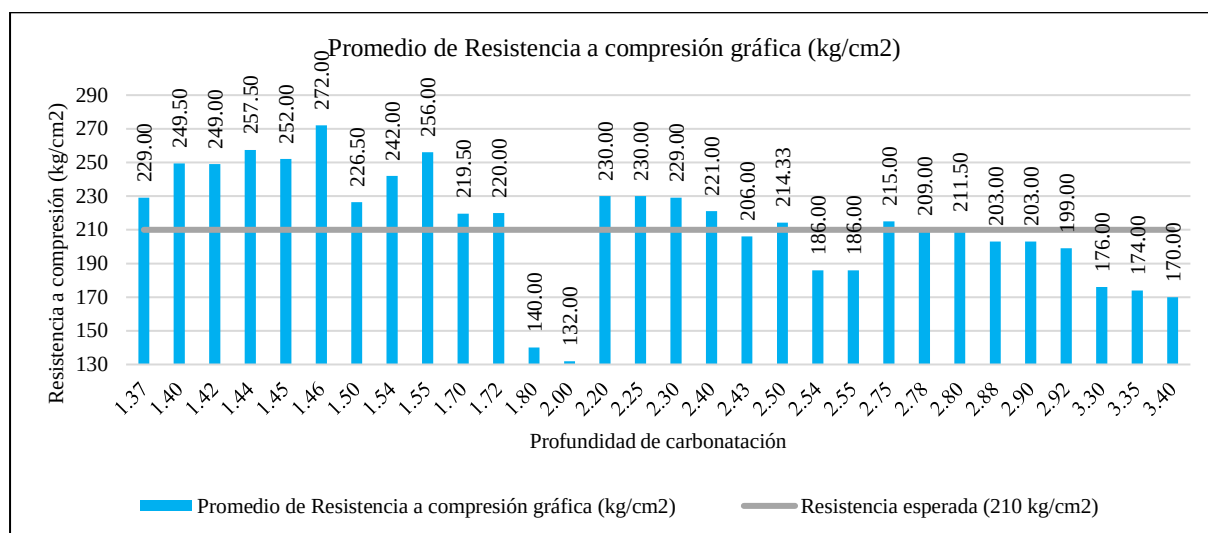
Resistencia a compresión corregida vs. profundidad de carbonatación



Nota. La resistencia corregida mantiene la misma tendencia decreciente que la resistencia gráfica, mostrando una relación inversa más consistente con la carbonatación ($R^2 = 0.348$). Para profundidades entre 1.37 y 1.55 cm los valores corregidos superan los 200 kg/cm², pero cuando la carbonatación se aproxima o supera los 2.50 cm, la resistencia disminuye hasta niveles cercanos a 130 kg/cm².

Figura 40

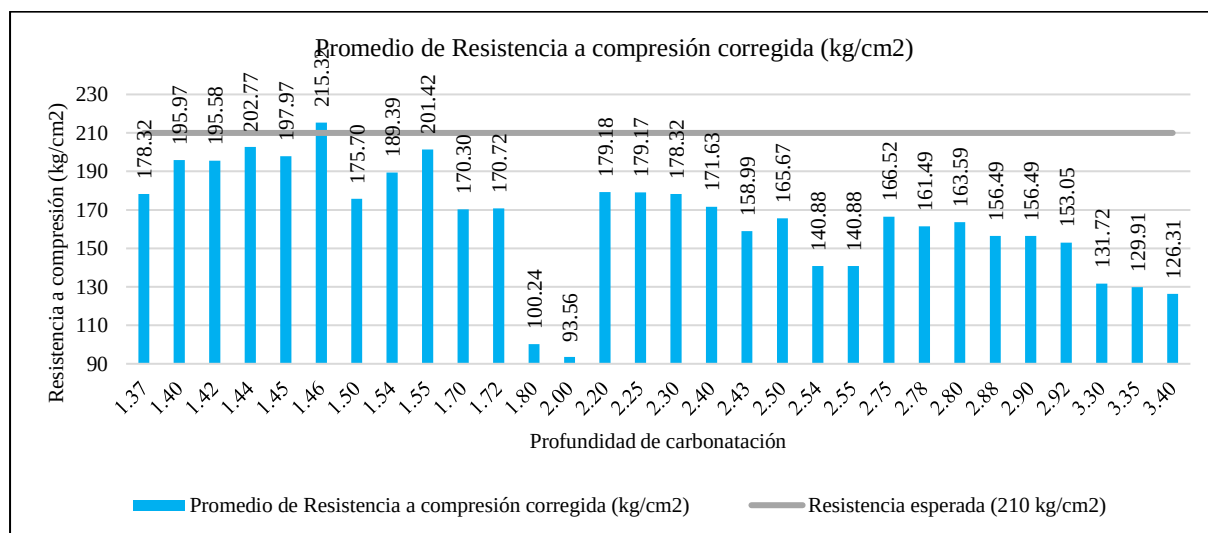
Promedio de resistencia a compresión gráfica vs. línea de f'_c esperado (210 kg/cm^2)



Nota. 11 de 30 profundidades evaluadas presentan resistencias gráficas por debajo del f'_c esperado (210 kg/cm^2), coincidiendo con profundidades de carbonatación mayores a 2.40 cm. En contraste, las columnas con carbonatación menor a 2.00 cm exceden ampliamente el f'_c esperado.

Figura 41

Resistencia a compresión corregida vs. línea de f'_c esperado (210 kg/cm^2)



Nota. Al corregir la resistencia, el patrón se mantiene, pero se observa con mayor claridad que más del 60% de las muestras no alcanzan el f'_c mínimo reglamentario, especialmente cuando la profundidad de carbonatación supera 2.50 cm. Los valores corregidos por debajo de 150 kg/cm^2 coinciden con carbonatación avanzada, confirmando que la microfisuración asociada a la carbonatación reduce la resistencia efectiva del concreto.

4.1.3. *Influencia de las condiciones ambientales en la carbonatación del concreto*

Los coeficientes de correlación muestran que la concentración de dióxido de carbono (CO_2) es la condición ambiental que presenta la relación más determinante con el proceso de carbonatación del concreto. El CO_2 exhibe una correlación positiva muy fuerte con la profundidad de carbonatación ($r = 0.980$), lo que indica que mayores niveles de CO_2 en el entorno aceleran significativamente la penetración del frente carbonatado en las columnas de concreto armado. De forma coherente, el CO_2 mantiene correlaciones también fuertes y negativas con la diferencia entre recubrimiento y carbonatación ($r = -0.573$) y con los años estimados para que la carbonatación afecte el recubrimiento o el espesor no carbonatado ($r = -0.717$ y $r = -0.712$, respectivamente), lo que evidencia que concentraciones elevadas de CO_2 reducen drásticamente la vida útil del recubrimiento. En contraste, la humedad relativa muestra correlaciones muy débiles o prácticamente nulas con la profundidad de carbonatación ($r = 0.110$) y sus variables asociadas, lo que sugiere que, en las condiciones climáticas de Chota, la humedad no presenta un comportamiento suficientemente variable como para influir de manera directa en la tasa de carbonatación. La temperatura, por su parte, presenta correlaciones también muy débiles con la profundidad carbonatada ($r = 0.064$) y, más bien, una correlación negativa moderada con el pH no carbonatado ($r = -0.586$), lo que indica que temperaturas más altas podrían favorecer una ligera disminución de la alcalinidad sin traducirse necesariamente en una mayor profundidad de carbonatación. En conjunto, los resultados evidencian que, entre las condiciones ambientales evaluadas, el CO_2 es el factor externo que más intensifica la carbonatación del concreto, mientras que la humedad relativa y la temperatura muestran un efecto marginal bajo las condiciones habituales de exposición de las viviendas estudiadas.

Tabla 21

Coefficientes de correlación de los parámetros ambientales (Temperatura, humedad y CO₂) y la carbonatación en columnas de concreto armado

Correlaciones	Número de vivienda	Profundidad de carbonatación	Δ Diferencia	Porcentaje de carbonatación	Velocidad de carbonatación	Años para que la carbonatación afecte todo el recubrimiento	Años para que la carbonatación afecte el espesor no carbonatado	pH muestra carbonatada (Mi)	pH muestra no carbonatada (Mii)	Resistencia a compresión	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Profundidad de carbonatación	0.020	1.000										
Δ Diferencia	-0.535	-0.554	1.000									
Porcentaje de carbonatación	0.439	0.700	-0.969	1.000								
Velocidad de carbonatación	-0.429	0.575	0.206	-0.039	1.000							
Años para que la carbonatación afecte todo el recubrimiento	-0.412	-0.273	0.628	-0.605	-0.110	1.000						
Años para que la carbonatación afecte el espesor no carbonatado	-0.449	-0.699	0.968	-0.999	0.028	0.619	1.000					
pH muestra carbonatada (Mi)	-0.446	-0.647	0.971	-0.979	0.130	0.551	0.975	1.000				
pH muestra no carbonatada (Mii)	-0.518	-0.128	0.528	-0.496	0.266	0.416	0.496	0.470	1.000			
Resistencia a compresión corregida	-0.463	-0.683	0.953	-0.975	0.098	0.527	0.971	0.981	0.499	1.000		
Temperatura (°C)	0.051	0.064	-0.326	0.308	-0.239	-0.300	-0.298	-0.306	-0.586	-0.324	1.000	
Humedad relativa (%)	-0.034	0.110	0.115	-0.099	0.066	0.347	0.106	0.078	0.447	0.067	-0.757	1.000
Dióxido de carbono CO ₂ (ppm)	0.032	0.980	-0.573	0.718	0.535	-0.255	-0.717	-0.680	-0.181	-0.712	0.117	0.041

a) Parámetros ambientales por vivienda.

Los parámetros ambientales registrados en las 16 viviendas de la ciudad de Chota muestran variabilidad moderada que responde principalmente a la ubicación sectorial y a las condiciones microclimáticas inmediatas. La temperatura promedio oscila entre 18 °C y 29 °C, con valor general de 22.55 °C, evidenciándose valores más elevados en viviendas de los sectores 2 y 4, lo que sugiere menor sombreado urbano. La humedad relativa, por su parte, se mantiene en un rango de 49% a 69%, con promedio de 55.17%, siendo más alta en las viviendas 7, 9, 10, 11 y 16, ubicadas en sectores con menor ventilación. En cuanto a la concentración de dióxido de carbono (CO₂), se observan valores entre 400 ppm y 497 ppm, con promedio de 426.68 ppm, destacando las viviendas 7 y 8 con los niveles más altos, lo que sugiere mayor actividad humana, menor ventilación o influencia de fuentes de emisión cercanas.

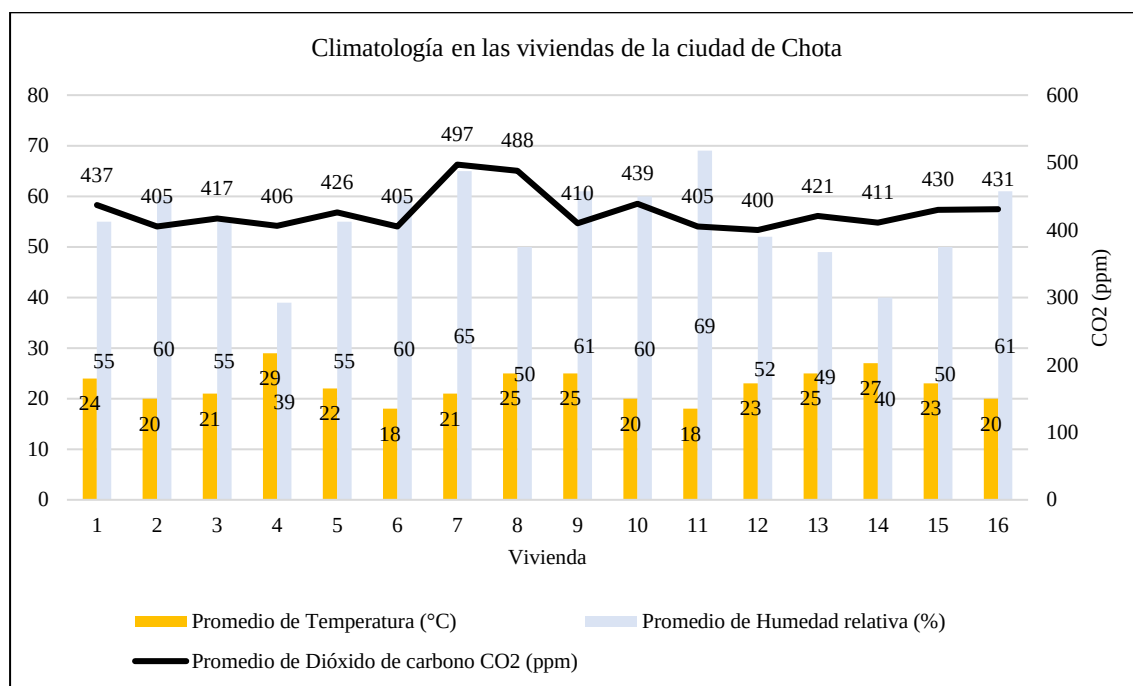
Tabla 22

Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por vivienda

Vivienda	Sector	Promedio de Temperatura (°C)	Promedio de Humedad relativa (%)	Promedio de Dióxido de carbono CO ₂ (ppm)
1	3	24	55	437
2	1	20	60	405
3	3	21	55	417
4	2	29	39	406
5	2	22	55	426
6	3	18	60	405
7	2	21	65	497
8	5	25	50	488
9	3	25	61	410
10	5	20	60	439
11	3	18	69	405
12	9	23	52	400
13	2	25	49	421
14	2	27	40	411
15	4	23	50	430
16	3	20	61	431
Total		22.55	55.17	426.68

Figura 42

Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por vivienda



Nota. En conjunto, la figura muestra una distribución heterogénea de los parámetros ambientales entre viviendas, estableciendo un contexto que permite evaluar cómo estas variaciones pueden incidir en la intensidad del proceso de carbonatación en las columnas de concreto armado.

b) Parámetros ambientales por sector.

La temperatura promedio varía entre 20 °C y 24.8 °C, siendo el sector 2 el más cálido, mientras que el sector 1 registra los valores más bajos. La humedad relativa presenta contrastes más marcados: los sectores 1 y 3 muestran condiciones más húmedas ($\approx 60\%$), lo que favorece la disolución de CO_2 y la difusión del carbonato hacia el recubrimiento, mientras que los sectores 2 y 4 exhiben humedades más bajas ($\approx 50\%$), asociadas a un ambiente más seco y mayor evaporación superficial. Respecto a la concentración de CO_2 , el sector 5 destaca con el valor más alto (463.5 ppm), lo que indica mayor acumulación del gas y un potencial incremento en el ritmo de carbonatación; por el contrario, el sector 9 presenta el valor más bajo (400 ppm), reflejando mejores condiciones de ventilación.

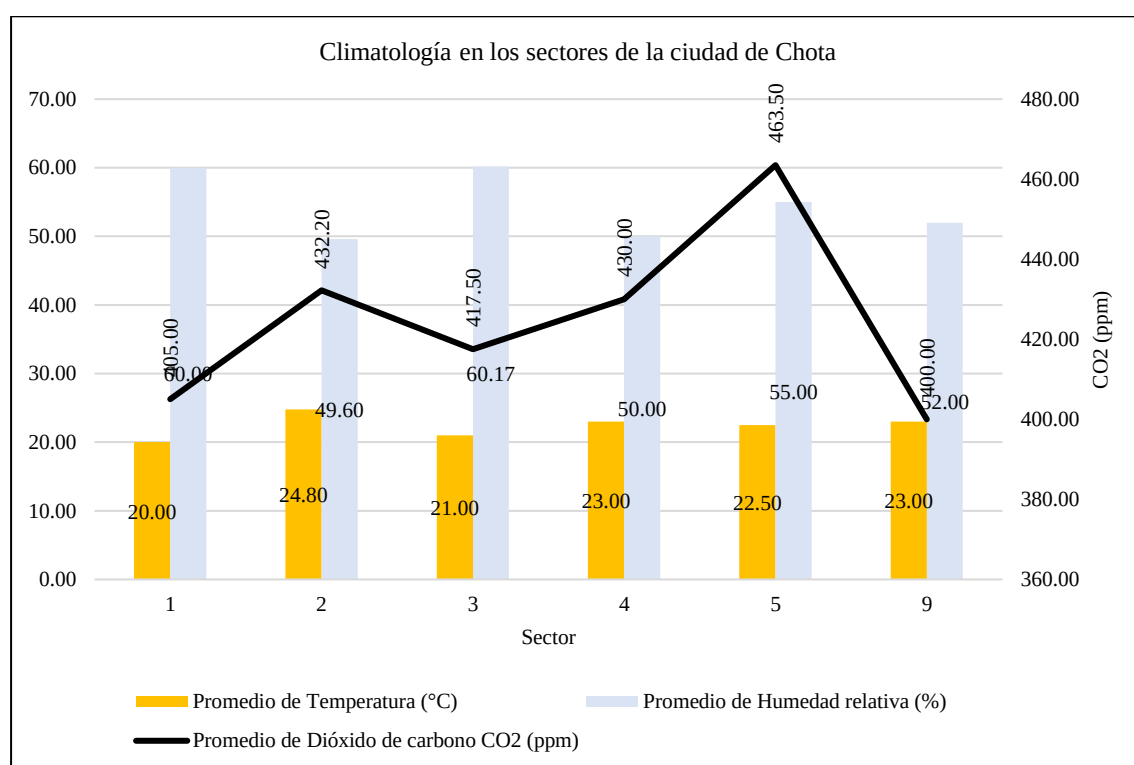
Tabla 23

Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por sectores

Sector	Promedio de Temperatura (°C)	Promedio de Humedad relativa (%)	Promedio de Dióxido de carbono CO2 (ppm)
1	20.00	60.00	405.00
2	24.80	49.60	432.20
3	21.00	60.17	417.50
4	23.00	50.00	430.00
5	22.50	55.00	463.50
9	23.00	52.00	400.00
Total	22.55	55.17	426.68

Figura 43

Parámetros ambientales en la ciudad de Chota por sectores



Nota. La figura muestra claramente estos contrastes, evidenciando que los sectores con mayor CO₂ no coinciden necesariamente con los de mayor humedad, configurando combinaciones ambientales diferenciadas que explican la variabilidad del avance de carbonatación en las columnas evaluadas.

c) Parámetros ambientales y estado de la vivienda.

La tabla evidencia diferencias ambientales claras entre viviendas en buen y regular estado, las cuales pueden influir directamente en la velocidad y profundidad de carbonatación del concreto. Las viviendas clasificadas como regulares presentan mayor temperatura promedio (23.21 °C) y menor humedad relativa (53.10 %), condiciones que favorecen una mayor difusividad del CO₂ hacia el recubrimiento; además, registran una concentración significativamente más alta de dióxido de carbono (438.48 ppm), lo que incrementa el potencial de formación de carbonatos en la matriz cementicia. En contraste, las viviendas en buen estado muestran temperaturas más bajas y humedades más altas, junto con menores niveles de CO₂, configurando un entorno menos agresivo frente al proceso de carbonatación. En conjunto, estos resultados sugieren que las viviendas con deficiencias constructivas o de mantenimiento tienden a ubicarse en ambientes más propensos al avance de la carbonatación, lo cual es coherente con el deterioro observado en sus elementos estructurales.

Tabla 24

Estado de la vivienda y su relación con los parámetros ambientales

Estado de la vivienda	Promedio de Temperatura (°C)	Promedio de Humedad relativa (%)	Promedio de Dióxido de carbono CO ₂ (ppm)
Bueno	21.50	58.50	407.67
Regular	23.21	53.10	438.48
Total	22.55	55.17	426.68

d) Temperatura y carbonatación en columnas de concreto armado.

Los datos muestran que la profundización de la carbonatación no sigue un patrón lineal respecto a la temperatura. En rangos intermedios (21–25 °C) se registran las mayores profundidades de carbonatación (2.29–2.78 cm) y los mayores índices de riesgo ($IR \approx 0.70$ –0.80), mientras que temperaturas más bajas (18 °C) o más altas (29 °C) presentan carbonatación más reducida. Esto confirma que la carbonatación se intensifica en ambientes cálidos moderados, pero disminuye cuando la temperatura es muy baja o demasiado alta. Los valores de pH disminuyen ligeramente cuando la profundidad de carbonatación aumenta, y las viviendas con temperatura alrededor de 22–24 °C evidencian los menores tiempos para que la carbonatación alcance la armadura, lo que indica que este rango térmico es el más crítico para estructuras expuestas en Chota.

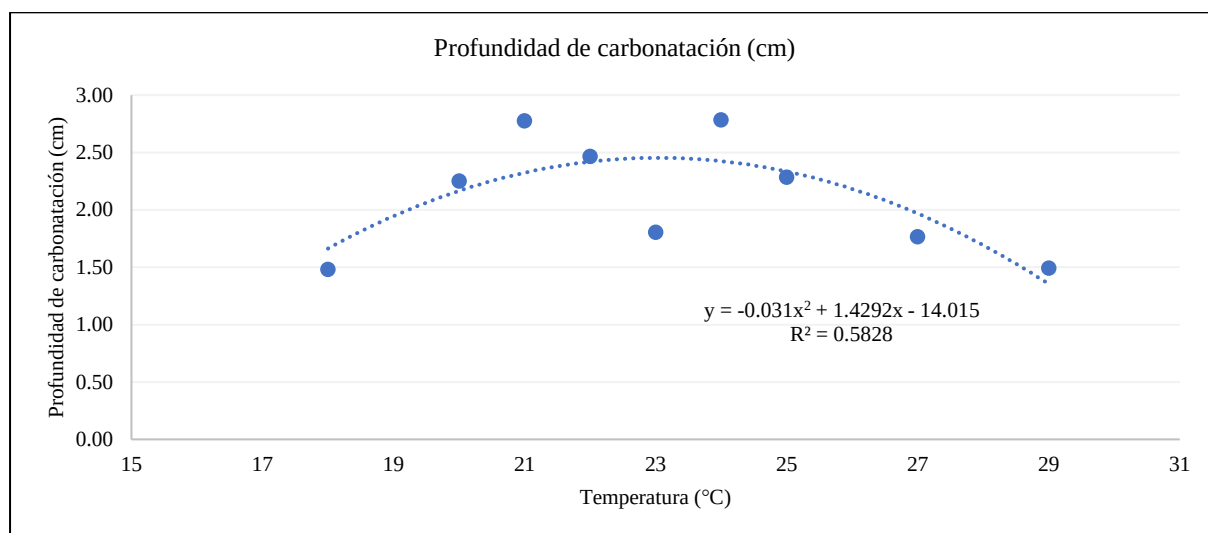
Tabla 25

Temperatura y carbonatación en columnas de concreto armado

Temperatura (°C)	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/ $\sqrt{\text{año}}$)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
18	3.75	1.48	2.27	0.40	39.68%	0.70	28.68	10.54	11.12
20	3.40	2.25	1.15	0.70	69.78%	0.71	23.13	4.56	10.00
21	3.50	2.78	0.73	0.79	79.29%	0.76	21.04	1.42	9.45
22	3.50	2.47	1.03	0.70	70.48%	0.87	16.12	1.41	10.01
23	2.40	1.80	0.60	0.74	74.10%	0.58	17.26	1.18	9.51
24	3.50	2.78	0.72	0.80	79.52%	0.80	18.98	0.80	9.43
25	3.17	2.29	0.88	0.72	71.80%	0.69	20.90	1.76	9.71
27	1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
29	3.00	1.49	1.51	0.50	49.78%	0.56	28.32	7.17	10.50
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Figura 44

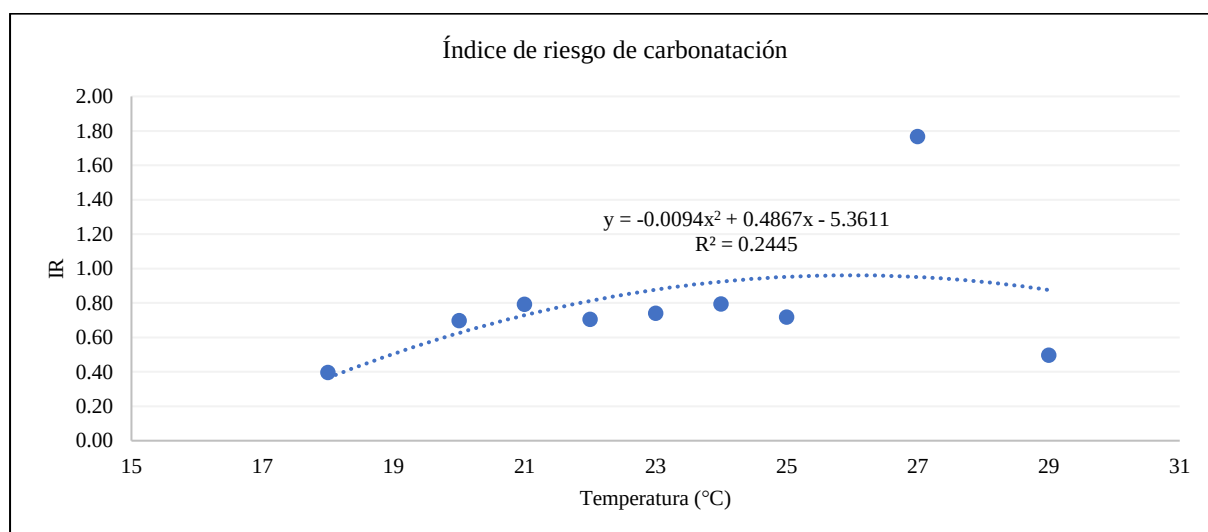
Profundidad de carbonatación vs. Temperatura



Nota. El modelo cuadrático muestra correlación moderada (R^2 0.58), lo que significa que la temperatura explica alrededor del 58% de la variación en la profundidad de la carbonatación. La carbonatación aumenta desde 18 °C hasta un punto cercano a 22–24 °C; a partir de 25 °C la profundidad disminuye, mostrando menor agresividad.

Figura 45

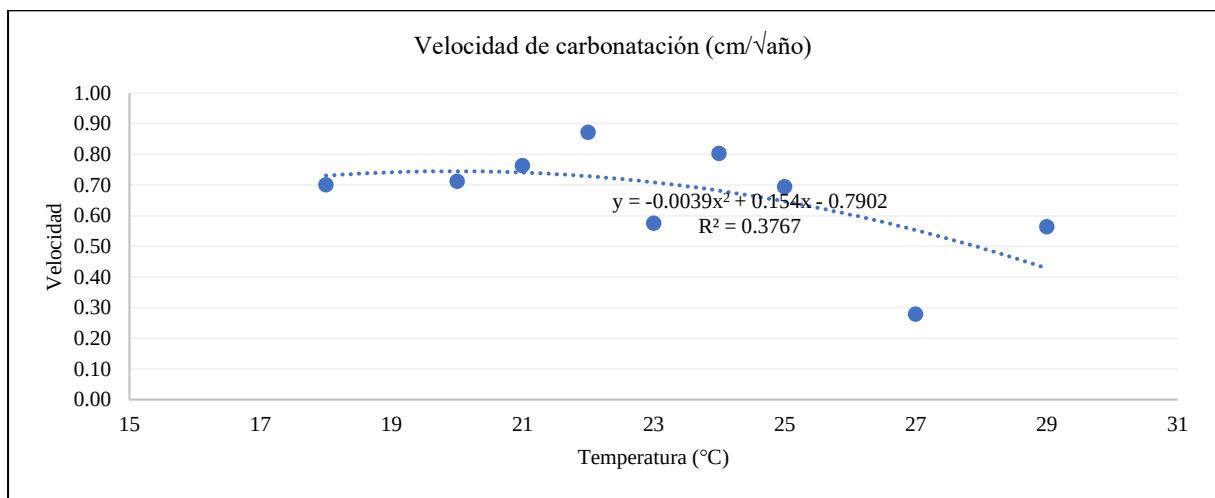
Índice de riesgo de carbonatación vs. Temperatura



Nota. El R^2 es muy bajo (0.24), indicando que la temperatura no explica de forma significativa la variación del índice de riesgo. Aunque la tendencia sugiere un leve incremento del IR en temperaturas cercanas a 22–24 °C, la dispersión de los datos evidencia que el riesgo está más influenciado por otras variables (espesor de recubrimiento, carbonatación acumulada, condiciones de exposición).

Figura 46

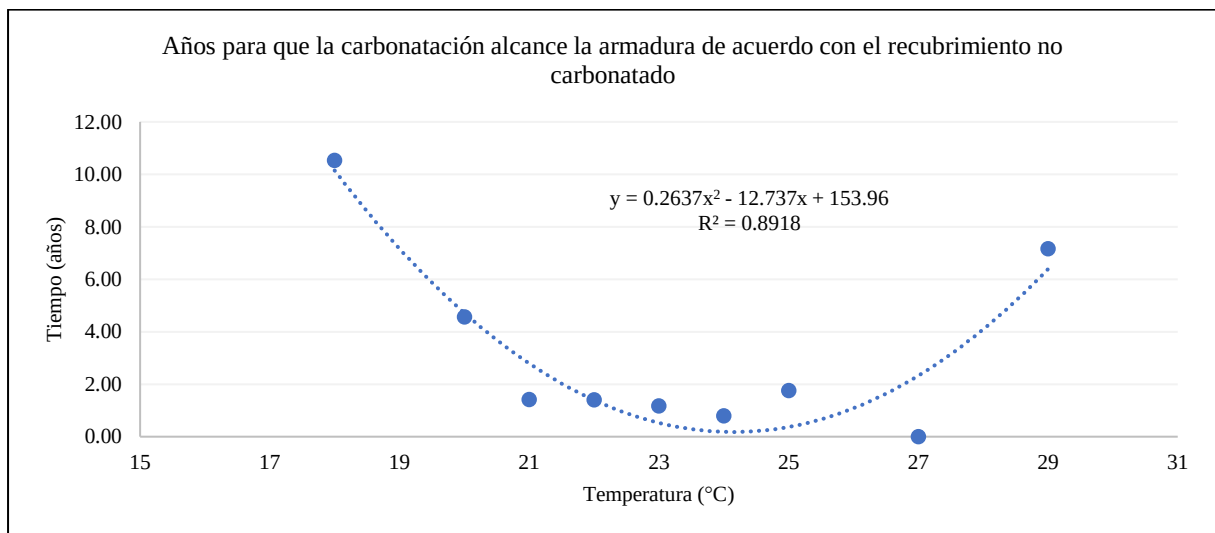
Velocidad de carbonatación vs. Temperatura



Nota. El R^2 indica correlación débil a moderada (0.38). Esto coincide con la cinética química de la carbonatación, donde la reacción se ve favorecida en temperaturas templadas, pero no muestra relación fuerte porque la velocidad depende también de la humedad relativa y concentración de CO_2 , no solo de la temperatura.

Figura 47

Años para que la carbonatación alcance la armadura vs. Temperatura



Nota. Este gráfico presenta el R^2 más alto (0.89), lo que demuestra correlación muy fuerte entre temperatura y el tiempo de avance de la carbonatación. El modelo muestra que: En el rango 22–25 °C, la carbonatación llega a la armadura en menos de 2 años, reflejando un periodo de afectación crítico; a bajas temperaturas (18–20 °C) o altas (29 °C), el tiempo se incrementa, indicando menor agresividad ambiental. La temperatura es un predictor confiable del avance de carbonatación en zonas donde el concreto presenta recubrimientos reducidos o deteriorados.

e) Humedad y carbonatación en columnas de concreto armado.

La profundidad de carbonatación no sigue un patrón lineal evidente, situándose entre 1.40 cm y 3.35 cm, con los valores más altos de carbonatación en viviendas con humedades intermedias (49–65%), más que en humedades extremas. Esto es coherente con la teoría: la carbonatación es más activa en humedades cercanas al 50–70%, donde existe suficiente contenido de agua para disolver CO₂, pero sin saturación que impida la difusión del gas. Las viviendas con humedades extremas (40% y 69%) presentan comportamientos opuestos: 40% HR muestra la mayor carbonatación relativa (IR = 1.77), reflejando concreto muy permeable; y 69% HR presenta baja carbonatación relativa (IR = 0.43), consistente con que humedades cercanas a saturación retrasan la difusión del CO₂. La humedad actúa como modulador, pero no explica completamente el comportamiento de la carbonatación.

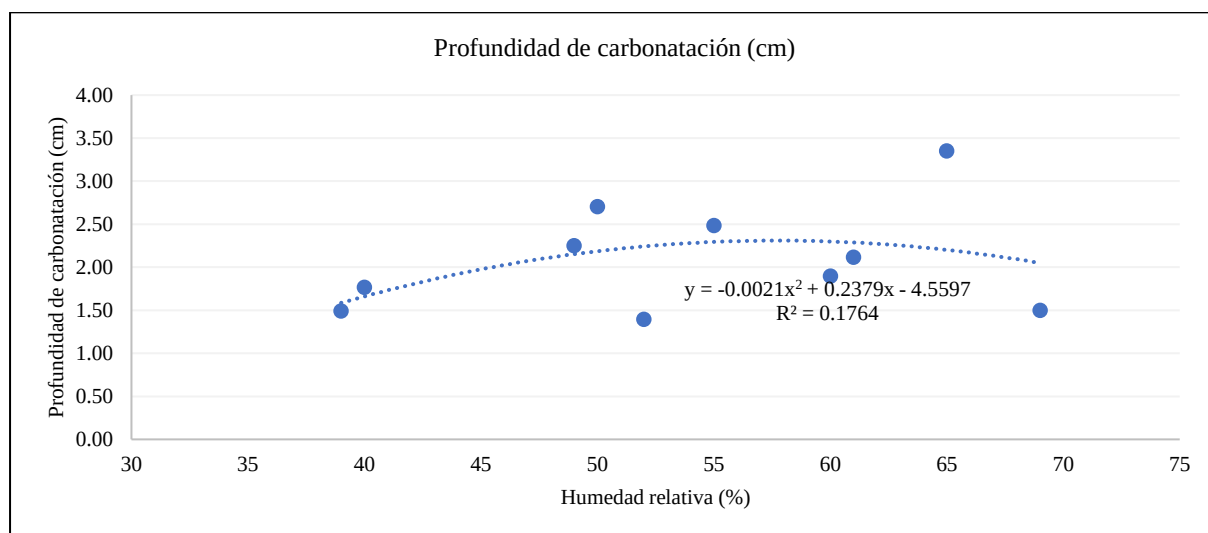
Tabla 26

Humedad y carbonatación en columnas de concreto armado

Humedad relativa (%)	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/ [√] año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
39	3.00	1.49	1.51	0.50	49.78%	0.56	28.32	7.17	10.50
40	1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
49	3.50	2.25	1.25	0.64	64.29%	0.80	19.38	2.48	10.20
50	3.30	2.71	0.59	0.82	81.91%	0.73	20.52	0.67	9.20
52	2.00	1.40	0.60	0.70	69.83%	0.49	16.42	1.50	9.63
55	3.50	2.48	1.02	0.71	70.95%	0.82	18.45	1.67	9.82
60	3.83	1.90	1.94	0.51	50.71%	0.75	26.70	8.59	10.80
61	2.60	2.12	0.48	0.81	80.99%	0.58	20.41	1.12	9.41
65	3.50	3.35	0.15	0.96	95.71%	0.75	21.84	0.04	8.87
69	3.50	1.50	2.00	0.43	42.86%	0.67	27.28	8.93	10.83
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Figura 48

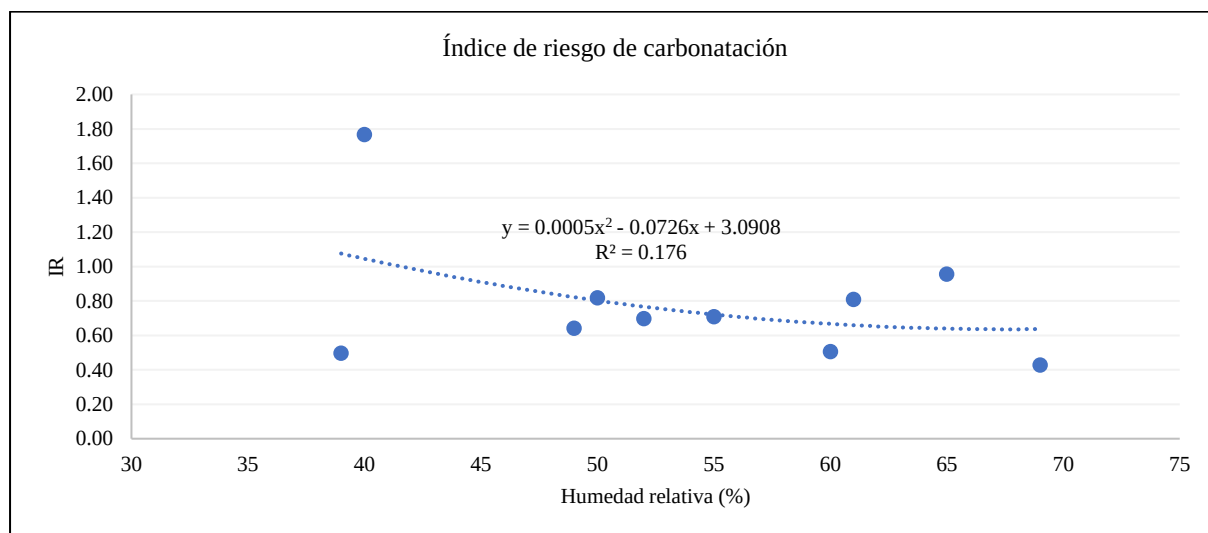
Profundidad de carbonatación vs. humedad relativa



Nota. La tendencia muestra un ligero incremento de la carbonatación entre 45% y 60% HR, seguido de una leve disminución hacia humedades más altas. Sin embargo, el $R^2 = 0.1764$ indica que la humedad relativa explica solo el 17.6% de la variabilidad de la profundidad de carbonatación, regresión muy débil.

Figura 49

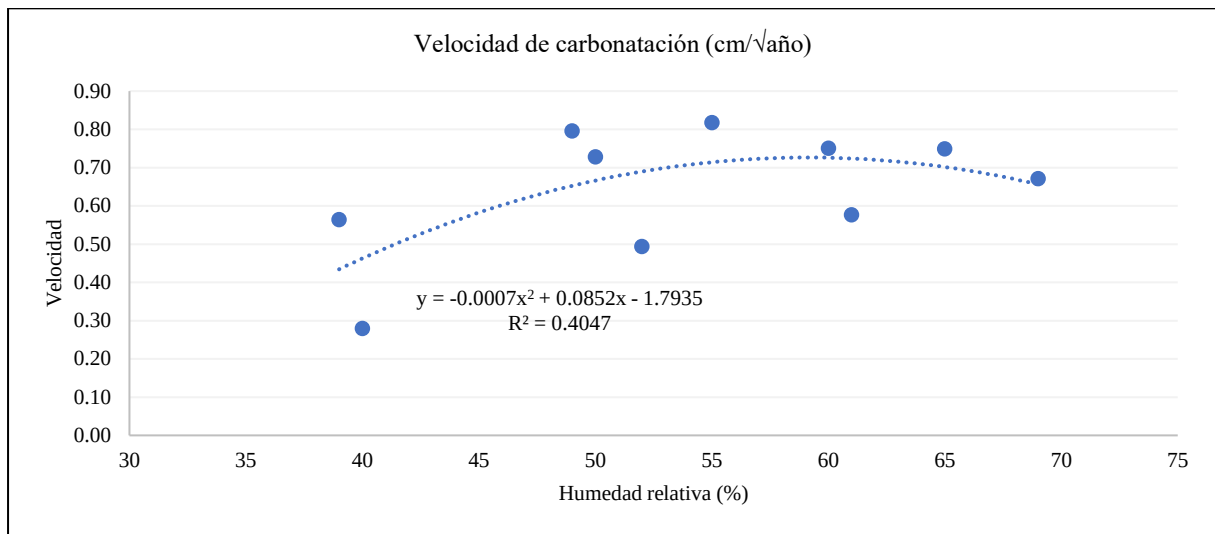
Índice de riesgo de carbonatación vs. humedad relativa



Nota. El índice de riesgo disminuye ligeramente a medida que aumenta la humedad, pero el R^2 también es 0.176, lo cual confirma una relación muy débil. Aunque teóricamente la humedad influye, los datos empíricos muestran que la condición del concreto tiene mayor peso que la humedad en el riesgo de carbonatación.

Figura 50

Velocidad de carbonatación vs. humedad relativa

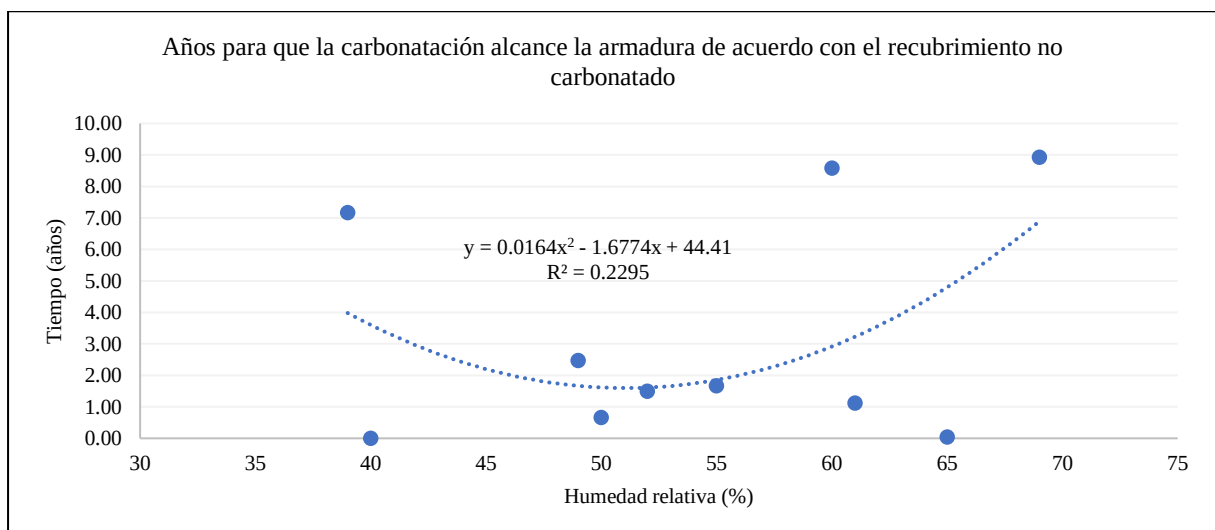


Nota. Representa la correlación más significativa del conjunto: R^2 0.4047, equivalente a correlación moderada.

La velocidad de carbonatación aumenta desde 40% hasta aproximadamente 60% HR, alcanzando valores máximos en este rango, lo cual coincide con el rango óptimo teórico (55–65%) para la reacción de carbonatación.

Figura 51

Años para que la carbonatación alcance la armadura (recubrimiento no carbonatado) vs. humedad



Nota. Este modelo muestra una curva en U: Menor vida útil estimada entre 45–55% HR, donde la carbonatación es más activa, y mayor vida útil en humedades bajas o muy altas, donde la reacción se desacelera. No obstante, el $R^2 = 0.2295$ evidencia una correlación débil, por lo que la humedad no es un predictor confiable.

f) Concentración de CO₂ y carbonatación en columnas de concreto armado.

Los datos muestran que, a medida que aumenta la concentración de CO₂ ambiental (400–497 ppm), la profundidad de carbonatación tiende a incrementarse, pasando de 1.40 cm (400 ppm) a valores superiores a 3.0 cm en ambientes con más de 480 ppm. De manera consistente, el porcentaje de carbonatación y el índice de riesgo también se elevan en escenarios con mayor CO₂, indicando relación directamente proporcional. Entre los parámetros ambientales evaluados, la concentración de CO₂ es el factor que presenta mayor influencia directa sobre la carbonatación, demostrada por el altísimo R² de 0.9539 en la profundidad de carbonatación. Ambientes con mayor CO₂ presentan mayores profundidades carbonatadas y menor protección frente a la corrosión de la armadura.

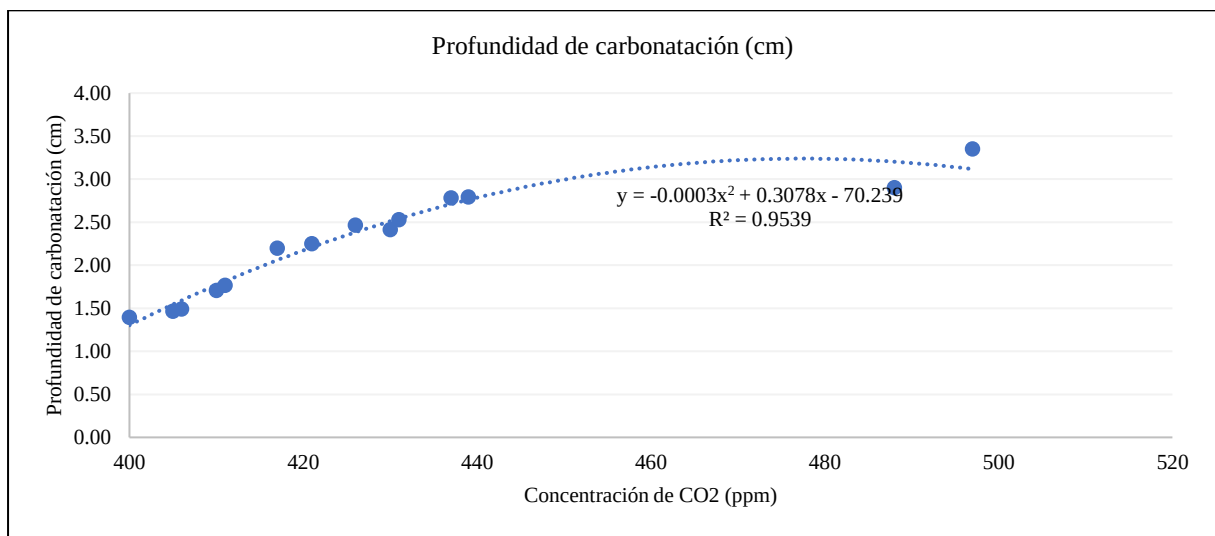
Tabla 27

Concentración de CO₂ y carbonatación en columnas de concreto armado

Concentración de CO ₂ (ppm)	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/√año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
400	2.00	1.40	0.60	0.70	69.83%	0.49	16.42	1.50	9.63
405	3.83	1.46	2.37	0.38	38.40%	0.71	29.51	11.31	11.27
406	3.00	1.49	1.51	0.50	49.78%	0.56	28.32	7.17	10.50
410	2.50	1.71	0.79	0.68	68.27%	0.54	21.46	2.16	9.82
411	1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
417	3.50	2.20	1.30	0.63	62.86%	0.78	20.25	2.79	10.03
421	3.50	2.25	1.25	0.64	64.29%	0.80	19.38	2.48	10.20
426	3.50	2.47	1.03	0.70	70.48%	0.87	16.12	1.41	10.01
430	3.00	2.42	0.59	0.81	80.50%	0.70	18.52	0.71	9.33
431	2.70	2.53	0.17	0.94	93.70%	0.61	19.37	0.08	9.01
437	3.50	2.78	0.72	0.80	79.52%	0.80	18.98	0.80	9.43
439	3.50	2.79	0.71	0.80	79.81%	0.81	18.84	0.77	9.42
488	3.50	2.90	0.60	0.83	82.86%	0.75	21.85	0.64	9.12
497	3.50	3.35	0.15	0.96	95.71%	0.75	21.84	0.04	8.87
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Figura 52

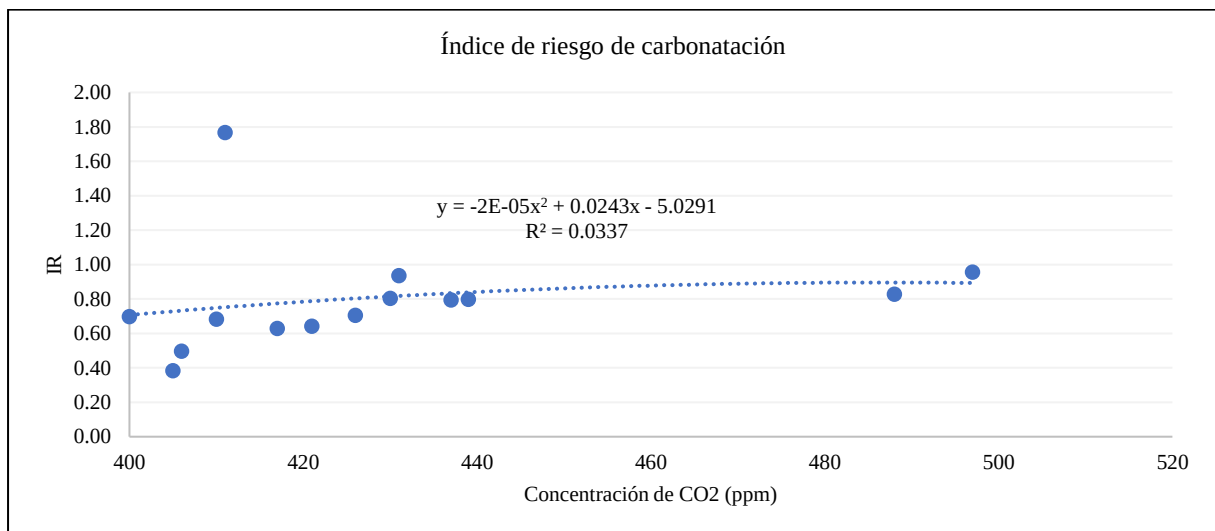
Profundidad de carbonatación vs concentración de CO₂



Nota. La profundidad de carbonatación aumenta casi linealmente conforme crece la concentración de CO₂, con un ajuste estadístico muy alto ($R^2 = 0.9539$). Esto indica que el CO₂ explica más del 95% de la variabilidad de la carbonatación, siendo el parámetro ambiental más determinante para el avance del frente carbonatado.

Figura 53

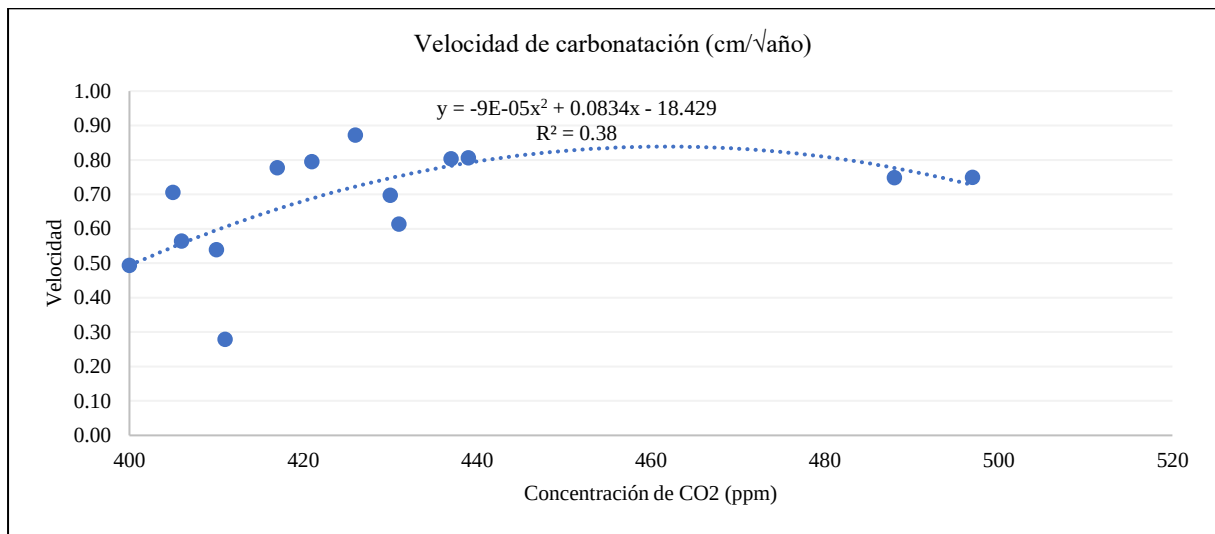
Índice de riesgo de carbonatación vs concentración de CO₂



Nota. Aunque el IR tiende a aumentar ligeramente con el CO₂, la dispersión de los datos es alta y el ajuste es prácticamente nulo ($R^2 = 0.0337$). Esto indica que el índice de riesgo no depende directamente del CO₂, sino de una combinación de otros factores como el recubrimiento, el pH y la resistencia del concreto. Por lo tanto, aunque el CO₂ influye en la carbonatación, no explica por sí solo el nivel de riesgo final.

Figura 54

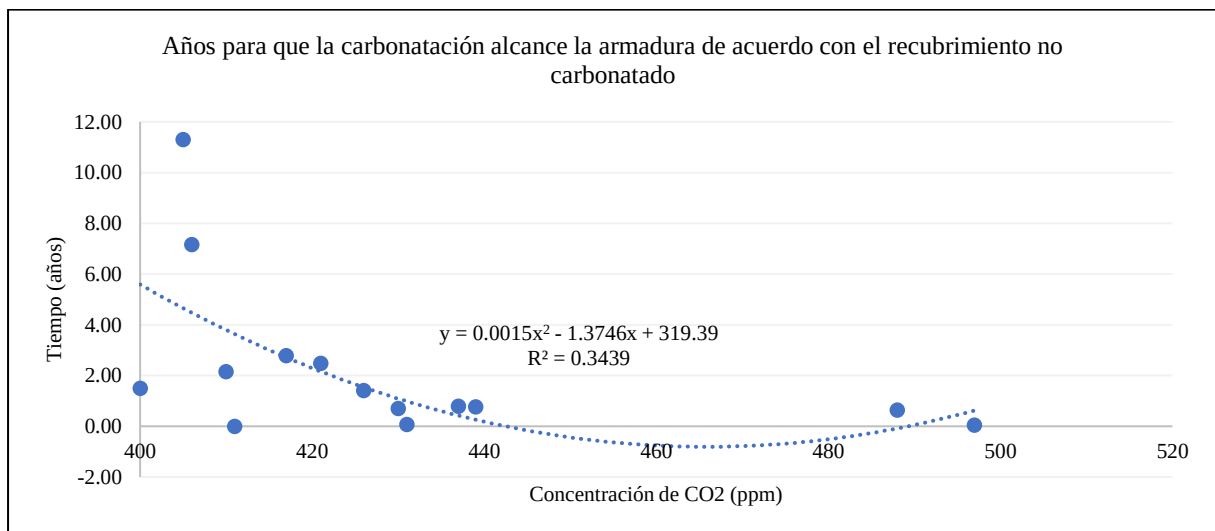
Velocidad de carbonatación vs concentración de CO₂



Nota. La velocidad de carbonatación muestra tendencia creciente en función del aumento del CO₂, pero el ajuste estadístico es bajo ($R^2 = 0.38$). Esto indica que, aunque existe relación positiva, el CO₂ sólo explica el 38% de la velocidad de carbonatación, por lo que intervienen también otros factores.

Figura 55

Años para que la carbonatación alcance la armadura vs CO₂



Nota. El tiempo para que la carbonatación consuma el recubrimiento disminuye visiblemente con el incremento del CO₂; sin embargo, el ajuste es bajo ($R^2 = 0.34$). Esto sugiere que, aunque el CO₂ acelera el deterioro, la variabilidad del tiempo de servicio se encuentra fuertemente influenciada por el espesor de recubrimiento y la profundidad actual del frente carbonatado, no solo por el CO₂.

4.1.4. Influencia de los factores propios de la edificación en la carbonatación de las columnas de concreto armado

La antigüedad de la edificación es el factor más influyente en la carbonatación, evidenciando correlación positiva fuerte con la profundidad de carbonatación ($r = 0.711$) y muy fuerte con el porcentaje de carbonatación ($r = 0.974$). Esto indica que, conforme la vivienda envejece, el avance del frente carbonatado aumenta de forma sostenida, debido a la prolongada exposición del concreto a la intemperización. De manera complementaria, la antigüedad presenta correlaciones negativas muy fuertes con los años restantes para que la carbonatación alcance la armadura ($r = -0.969$) y con el pH carbonatado ($r = -0.980$), lo cual confirma la disminución progresiva de la protección química del concreto en edificaciones más antiguas.

En el caso del número de pisos, la correlación es débil o muy débil con todos los parámetros de carbonatación (r entre -0.037 y -0.310), lo que evidencia que la altura edificada no constituye un factor determinante en el avance de la carbonatación en las viviendas evaluadas.

Respecto al uso de la edificación, se observa correlación negativa moderada con el porcentaje de carbonatación ($r = -0.394$) y con la profundidad carbonatada ($r = -0.228$), lo cual indica que edificaciones con uso más intensivo o permanente podrían presentar menores niveles de carbonatación, por efectos indirectos como mayor mantenimiento, menor exposición directa o presencia de ambientes interiores ventilados. Sin embargo, la fuerza de esta relación es limitada.

Tabla 28

Coefficientes de correlación de los factores propios de la edificación y la carbonatación en columnas de concreto armado

Correlaciones	Número de vivienda	Número de piso + sótano	Antigüedad	Estado	Número de columnas	Ubicación_columna	Punto	Altura del ensayo en la columna	Uso_edificación	Profundidad de recubrimiento	Profundidad de carbonatación	Δ Diferencia	Porcentaje de carbonatación	Velocidad de carbonatación	Años para que la carbonatación afecte el recubrimiento	Años para que la carbonatación afecte la profundidad no carbonatada	pH muestra carbonatada (Mi)
Número de piso + sótano	0.128	1.000															
Antigüedad	0.419	-0.051	1.000														
Estado	0.087	0.298	-0.647	1.000													
Número de columnas	0.165	0.361	-0.364	0.590	1.000												
Ubicación_columna	0.345	0.430	-0.239	0.659	0.744	1.000											
Punto	-0.038	-0.006	-0.015	0.021	0.035	-0.013	1.000										
Altura del ensayo en la columna	-0.169	-0.101	-0.128	0.053	0.126	0.007	0.944	1.000									
Uso_edificación	-0.513	0.123	-0.330	0.286	0.377	0.165	0.020	0.140	1.000								
Profundidad de recubrimiento	-0.590	-0.276	-0.495	0.177	-0.154	-0.144	0.019	0.164	0.257	1.000							
Profundidad de carbonatación	0.020	-0.197	0.711	-0.685	-0.404	-0.422	0.001	-0.007	-0.228	0.105	1.000						
Δ Diferencia	-0.535	-0.083	-0.938	0.539	0.276	0.105	0.018	0.178	0.417	0.627	-0.554	1.000					
Porcentaje de carbonatación	0.439	-0.037	0.974	-0.664	-0.373	-0.252	-0.019	-0.158	-0.394	-0.500	0.700	-0.969	1.000				
Velocidad de carbonatación	-0.429	-0.310	-0.063	-0.260	-0.272	-0.334	0.024	0.167	-0.121	0.684	0.575	0.206	-0.039	1.000			
Años para que la carbonatación afecte el recubrimiento	-0.412	-0.038	-0.511	0.350	0.178	0.059	-0.008	0.073	0.590	0.530	-0.273	0.628	-0.605	-0.110	1.000		
Años para que la carbonatación afecte la profundidad no carbonatada	-0.449	0.043	-0.969	0.664	0.378	0.250	0.007	0.150	0.415	0.495	-0.699	0.968	-0.999	0.028	0.619	1.000	
pH muestra carbonatada (Mi)	-0.446	-0.008	-0.980	0.639	0.368	0.226	0.005	0.140	0.367	0.544	-0.647	0.971	-0.979	0.130	0.551	0.975	1.000
pH muestra no carbonatada (Mii)	-0.518	0.024	-0.476	0.157	-0.186	-0.206	0.136	0.216	0.223	0.541	-0.128	0.528	-0.496	0.266	0.416	0.496	0.470

a) Características generales de las viviendas analizadas en la ciudad de Chota.

Las viviendas evaluadas muestran una alta heterogeneidad en uso, número de pisos y estado de conservación, pero comparten un patrón crítico: ninguna cuenta con medidas de protección frente a la carbonatación, lo que incrementa la vulnerabilidad del concreto expuesto a la intemperización. La mayoría presenta recubrimientos entre 3.0 y 3.5 cm, valores inferiores a los requeridos por normativa actual para ambientes exteriores, lo cual facilita la progresión del frente carbonatado. Se observa además que viviendas con mayor número de columnas expuestas o con usos mixtos (comercio + vivienda) no muestran diferencias significativas en el recubrimiento inicial, lo que sugiere que las variaciones posteriores en la carbonatación responden en mayor medida a la antigüedad y al nivel de exposición ambiental que al diseño estructural original.

Tabla 29*Características generales de las viviendas que formaron parte del estudio*

N°	Sector	Antigüedad (años)	Uso	N° de pisos	Estado de la vivienda	Ampliación o remodelación	N° de columnas expuestas	Resistencia esperada (kg/cm2)	Medidas de protección frente a carbonatación	Profundidad de recubrimiento (cm)
1	3	12	Vivienda Multifamiliar	3+azotea	Regular	No	7	210	No	3.5
2	1	4	Vivienda Multifamiliar	2+azotea	Buena	No	10	210	No	4
3	3	8	Vivienda Unifamiliar	3+azotea	Regular	No	7	210	No	3.5
4	2	7	Vivienda Multifamiliar	2+azotea	Regular	No	10	210	No	3
5	2	8	Vivienda Unifamiliar	Sótano +2p+azotea	Regular	No	9	210	No	3.5
6	3	4	Comercio + Unifamiliar	4p+azotea	Buena	No	10	210	No	4
7	2	20	Vivienda Unifamiliar	3p+azotea	Regular	No	4	210	No	3.5
8	5	15	Vivienda Multifamiliar	2+azotea	Regular	No	10	210	No	3.5
9	3	10	Comercio + Multifamiliar	7+azotea	Buena	No	12	210	No	2.5
10	5	12	Vivienda Unifamiliar	1+azotea	Regular	No	7	210	No	3.5
11	3	5	Vivienda Unifamiliar	Sótano +2p+azotea	Buena	No	8	210	No	3.5
12	9	8	Vivienda Unifamiliar	5p+azotea	Buena	No	11	210	No	2
13	2	8	Vivienda Unifamiliar	2p+azotea	Buena	No	11	210	No	3.5
14	2	40	Vivienda Unifamiliar	2p+azotea	Regular	No	6	210	No	1
15	4	12	Vivienda Unifamiliar	3p+azotea	Buena	No	6	210	No	3
16	3	17	Vivienda Unifamiliar	5p+azotea	Regular	No	11	210	No	2.7

b) Uso de la edificación y carbonatación.

El uso de la edificación sí influye en el nivel de carbonatación. Las viviendas unifamiliares presentan la mayor profundidad de carbonatación (2.26 cm) y el mayor porcentaje de penetración del recubrimiento (83.78%), lo que evidencia mayor exposición del concreto a condiciones ambientales externas. Por el contrario, edificaciones con uso comercial o multifamiliar muestran carbonataciones menores, probablemente por características arquitectónicas más cerradas, menor superficie expuesta y/o renovaciones periódicas. Asimismo, los años estimados para que la carbonatación alcance la armadura son significativamente menores en viviendas unifamiliares, lo que reafirma que su nivel de deterioro avanza más rápido frente a iguales condiciones ambientales.

Tabla 30

Uso de la edificación y carbonatación

Uso de la edificación	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
Comercio	3.25	1.58	1.67	0.52	52.38%	0.63	25.76	7.15	10.61
Multifamiliar	3.50	2.15	1.35	0.62	62.00%	0.71	25.08	5.36	10.16
Unifamiliar	2.97	2.26	0.71	0.84	83.78%	0.67	19.16	1.91	9.58
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

c) Estado de la edificación y carbonatación.

El estado de conservación presenta una relación directa con el nivel de deterioro: edificaciones en estado regular muestran mayor profundidad de carbonatación (2.47 cm), un índice de riesgo significativamente más alto (0.87) y un

porcentaje de avance del 87.42%. En contraste, las viviendas en estado bueno mantienen recubrimientos aún efectivos y menor penetración carbonatada (52.93%). Además, el tiempo estimado para que la carbonatación alcance la armadura es sustancialmente mayor en edificaciones con buen estado, lo que confirma que la falta de mantenimiento y el deterioro superficial aceleran el proceso, tanto por fisuración como por pérdida de hermeticidad del recubrimiento.

Tabla 31

Estado de la edificación y carbonatación

Estado de la edificación	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
Bueno	3.25	1.62	1.63	0.53	52.93%	0.66	24.30	6.68	10.58
Regular	3.07	2.47	0.60	0.87	87.42%	0.69	19.79	1.47	9.42
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

d) Ubicación de la columna analizada y carbonatación.

La ubicación de la columna respecto a la geometría de la edificación influye en el grado de exposición a la intemperie. Las columnas esquinadas presentan la mayor profundidad de carbonatación (2.36 cm) y el mayor riesgo ($IR = 0.82$) debido a que reciben acción directa del viento, lluvia y variaciones térmicas. Las columnas excéntricas muestran comportamiento intermedio, mientras que las centradas, parcialmente protegidas por la envolvente arquitectónica, registran menores porcentajes de carbonatación (54.10%) y tiempos mayores para que el frente carbonatado alcance el acero. Esto confirma que la carbonatación se acentúa en elementos más expuestos al ambiente exterior.

Tabla 32*Ubicación de la columna analizada y carbonatación*

Ubicación de la columna en la edificación	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/ $\sqrt{\text{año}}$)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
Centrada	3.60	1.84	1.76	0.54	54.10%	0.72	25.45	7.57	10.57
Esquinada	3.17	2.36	0.81	0.82	82.28%	0.70	20.76	2.51	9.63
Excéntrica	2.94	1.86	1.08	0.66	66.38%	0.63	21.56	3.81	10.05
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

e) Punto de análisis en la columna y carbonatación.

Los tres puntos de evaluación (inicial, intermedio y final) presentan diferencias mínimas lo que indica un proceso de carbonatación uniforme en la altura analizada de cada columna. La variación observada (IR entre 0.718 y 0.761) refleja ligeros cambios en exposición o microfisuración, pero no altera de manera relevante la tendencia general. En consecuencia, el avance de carbonatación no se concentra en un único nivel de la columna, sino que progresa de manera distribuida.

Tabla 33*Punto de análisis en la columna y carbonatación*

Punto de la columna donde se aplicó el ensayo	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/ $\sqrt{\text{año}}$)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
1 (inicial)	3.138	2.176	0.961	0.761	76.10%	0.684	20.995	3.287	9.85
2 (intermedio)	3.138	2.108	1.029	0.718	71.81%	0.666	22.436	3.725	9.88
3 (final)	3.147	2.158	0.989	0.748	74.75%	0.685	21.088	3.369	9.86
Total	3.140	2.147	0.993	0.742	74.21%	0.678	21.515	3.462	9.86

f) Antigüedad de la edificación y carbonatación.

Los resultados muestran que la antigüedad de las edificaciones influye directamente en la severidad de la carbonatación. A medida que aumentan los años, la profundidad de carbonatación crece y el porcentaje respecto al recubrimiento se vuelve cada vez mayor, alcanzando valores críticos superiores al 90% a partir de los 17–20 años. La diferencia entre recubrimiento y carbonatación (Δ) disminuye progresivamente, lo que acorta el tiempo para que el frente carbonatado alcance la armadura: en edificaciones jóvenes (4–7 años) ese tiempo supera los 20–30 años, mientras que en edificaciones entre 12 y 20 años se reduce a menos de 2 años, llegando incluso a 0 años para viviendas de 40 años. Paralelamente, el pH de la muestra carbonatada disminuye con la antigüedad, indicando pérdida significativa de alcalinidad protectora del concreto.

Tabla 34

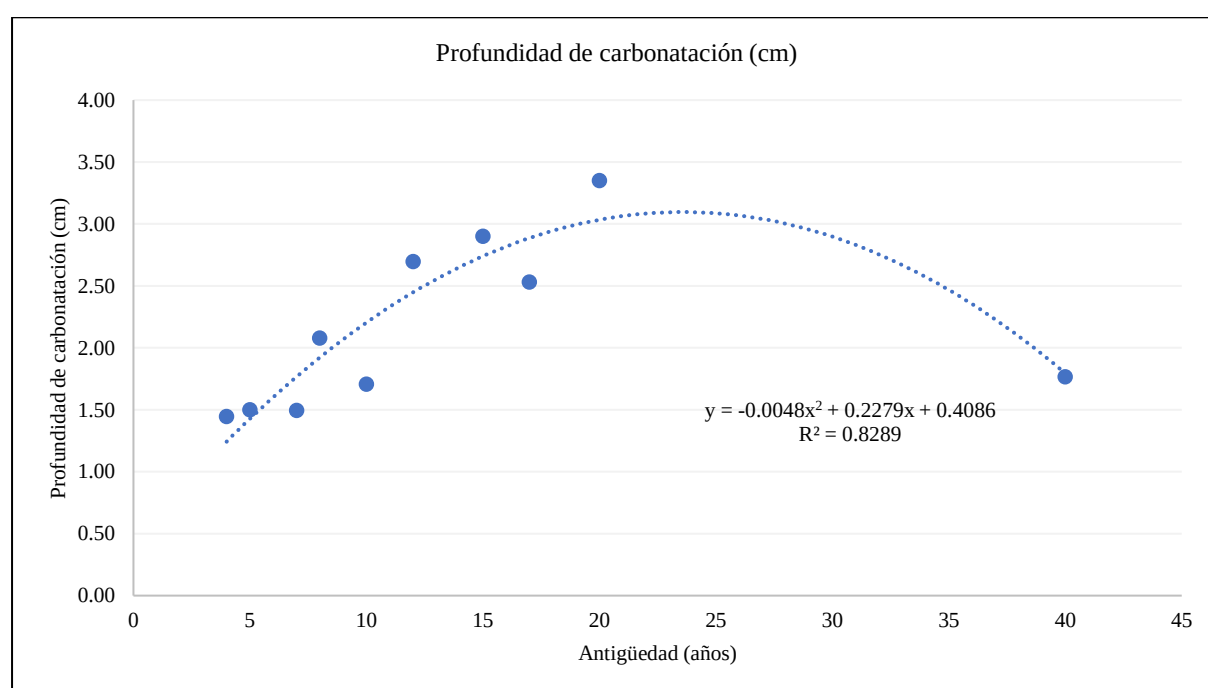
Antigüedad de la edificación y carbonatación

Antigüedad de la edificación	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Δ Diferencia entre recubrimiento y carbonatación (cm)	Índice de riesgo de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento	Años para que la carbonatación alcance la armadura de acuerdo con el recubrimiento no carbonatado	Promedio de pH muestra carbonatada (Mi)
4	4.00	1.45	2.55	0.36	36.17%	0.72	30.63	12.49	11.49
5	3.50	1.50	2.00	0.43	42.86%	0.67	27.28	8.93	10.83
7	3.00	1.49	1.51	0.50	49.78%	0.56	28.32	7.17	10.50
8	3.13	2.08	1.05	0.67	66.86%	0.73	18.04	2.05	9.97
10	2.50	1.71	0.79	0.68	68.27%	0.54	21.46	2.16	9.82
12	3.38	2.70	0.68	0.80	79.88%	0.78	18.81	0.76	9.40
15	3.50	2.90	0.60	0.83	82.86%	0.75	21.85	0.64	9.12
17	2.70	2.53	0.17	0.94	93.70%	0.61	19.37	0.08	9.01
20	3.50	3.35	0.15	0.96	95.71%	0.75	21.84	0.04	8.87
40	1.00	1.77	-0.77	1.77	176.67%	0.28	13.37	0.00	8.43
Total	3.14	2.15	0.99	0.74	74.21%	0.68	21.52	3.46	9.86

Los resultados demuestran que la antigüedad es el factor más determinante en el avance de la carbonatación, con correlaciones fuertes y muy fuertes en profundidad de carbonatación, índice de riesgo, tiempo de vida útil y pH. La evidencia indica que a partir de los 12–15 años la protección frente a la carbonatación se reduce drásticamente, y después de 20 años las viviendas de Chota presentan condiciones de durabilidad comprometidas, especialmente cuando el recubrimiento no cumple con el espesor requerido por norma. Esto resalta la necesidad de intervenciones preventivas y monitoreo periódico en edificaciones con más de una década de uso.

Figura 56

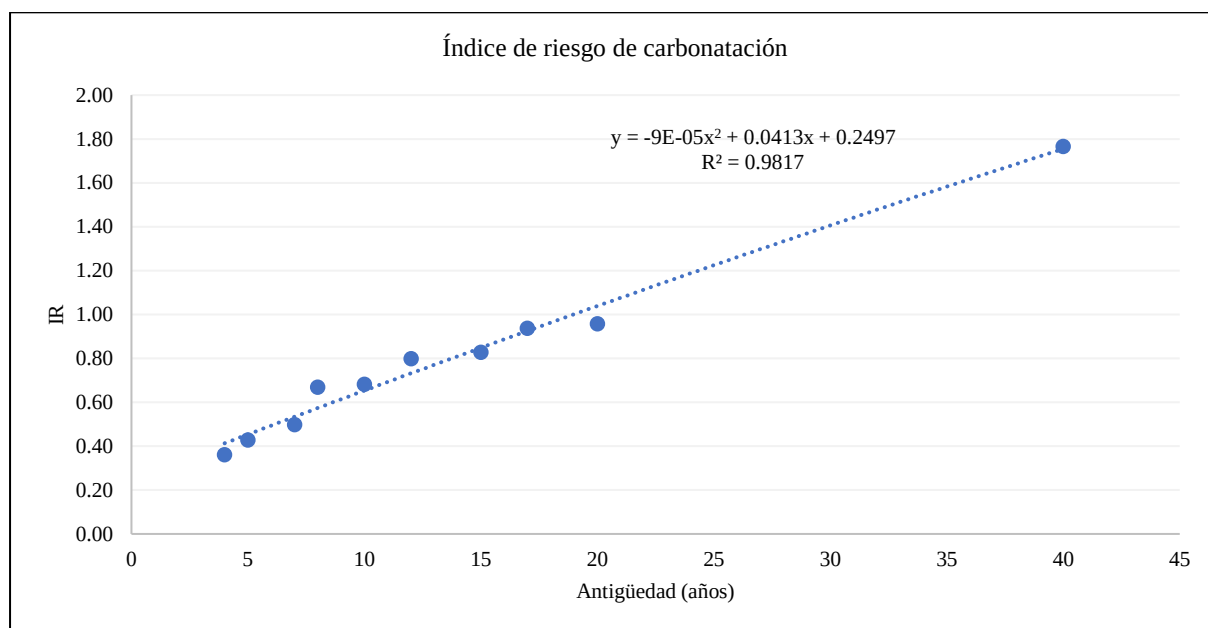
Profundidad de carbonatación vs Antigüedad



Nota. El modelo presenta una correlación muy fuerte, evidenciando que la antigüedad explica gran parte de la variación en la profundidad de carbonatación. La curva muestra un incremento marcado en los primeros 20 años, alcanzando profundidades superiores a 3 cm; posteriormente se observa un descenso asociado al único valor correspondiente a la edificación de 40 años con recubrimiento reducido. Este comportamiento confirma que el avance de la carbonatación es sistemático y dependiente del tiempo, siempre que el recubrimiento no cambie drásticamente.

Figura 57

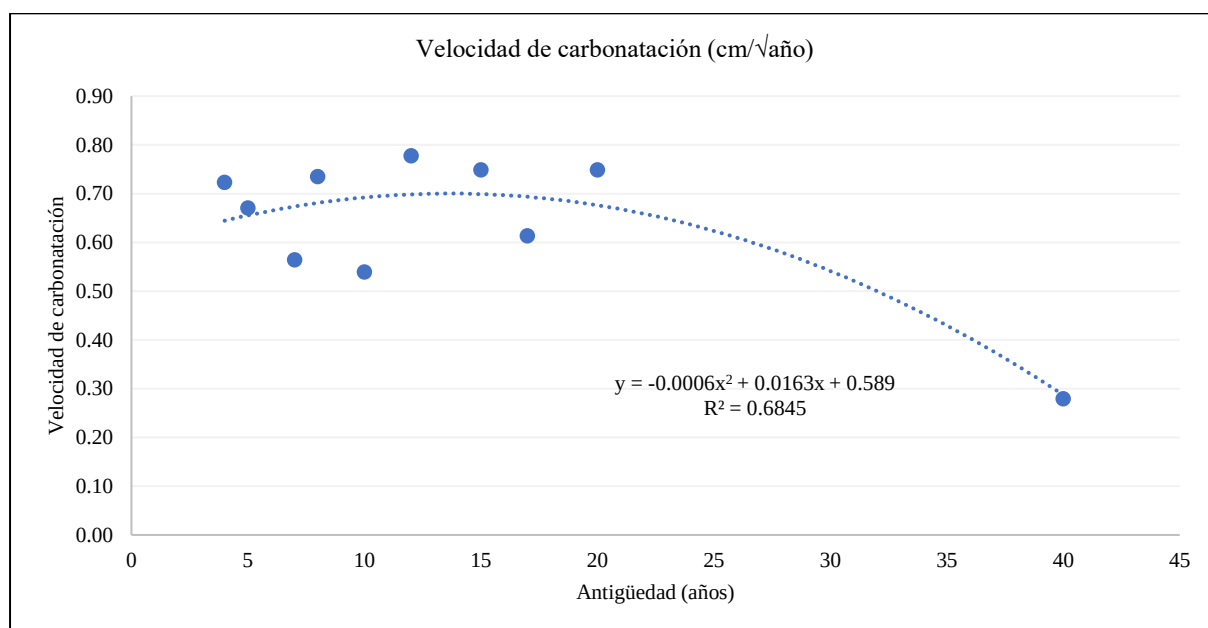
Índice de riesgo de carbonatación vs Antigüedad



Nota. Este es el modelo más sólido, con un R^2 que indica una correlación positiva casi perfecta. El índice de riesgo crece linealmente con la antigüedad.

Figura 58

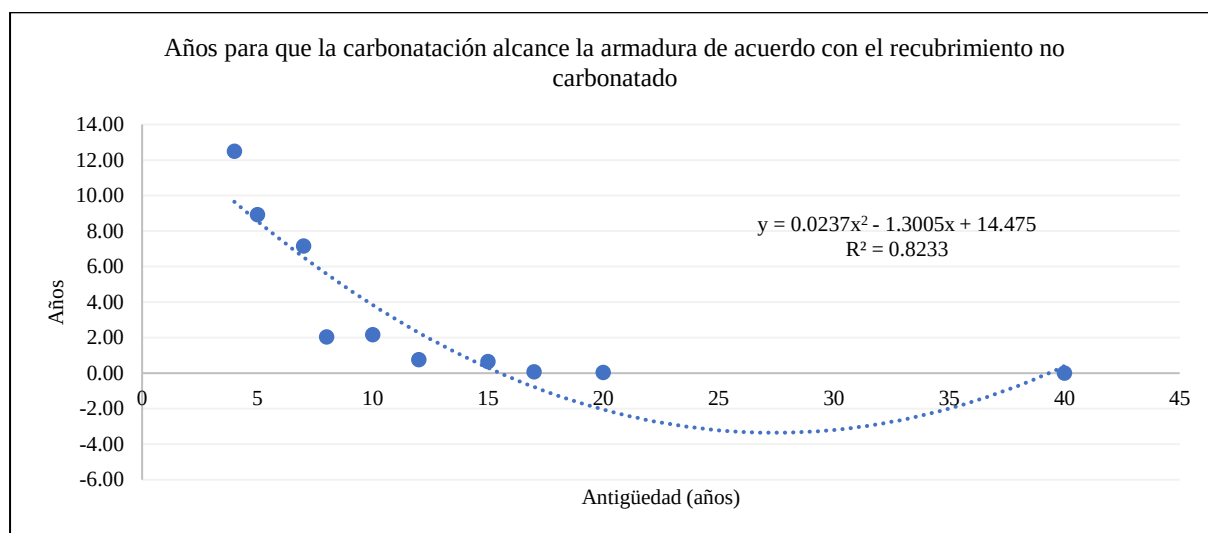
Velocidad de carbonatación vs Antigüedad



Nota. La correlación es moderada-fuerte, indicando que la antigüedad contribuye parcialmente a explicar la velocidad de carbonatación, pero existen otros factores (recubrimiento, exposición).

Figura 59

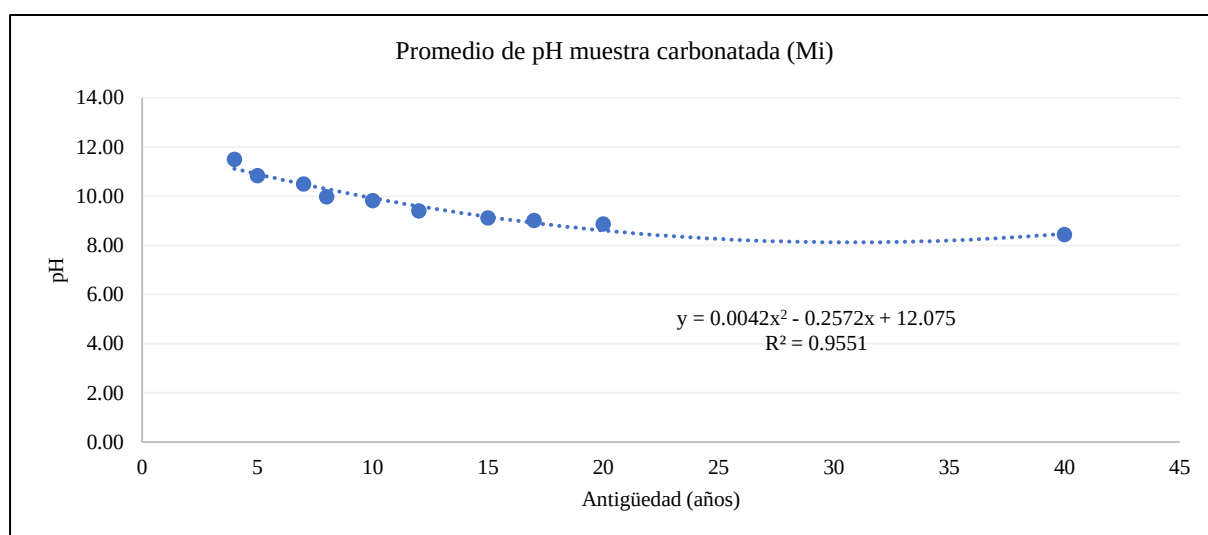
Años para que la carbonatación alcance la armadura según recubrimiento no carbonatado



Nota. El modelo tiene correlación fuerte, mostrando una disminución exponencial del tiempo restante de vida útil conforme aumenta la antigüedad. Edificaciones entre 15 y 20 años tienen menos de un año para que la carbonatación alcance la armadura, mientras que la construcción de 40 años ya presenta un valor igual a 0, indicando que la armadura ya habría perdido su recubrimiento alcalino efectivo.

Figura 60

pH de la muestra carbonatada vs Antigüedad



Nota. La relación es muy fuerte, con un descenso del pH desde 11 en edificaciones jóvenes hasta valores inferiores a 9 en edificaciones antiguas. Este comportamiento confirma el avance progresivo de la carbonatación, ya que la reducción del pH está directamente vinculada al agotamiento de hidróxidos alcalinos del concreto.

4.2. Contrastación de hipótesis

La contrastación de la hipótesis se desarrolló mediante análisis estadístico no paramétrico debido a que las variables asociadas a la carbonatación no presentaron una distribución normal. Para ello se emplearon los programas Minitab 22 y SPSS v.26. El programa Minitab 22 se utilizó para ejecutar la prueba de Kruskal–Wallis, destinada a verificar la hipótesis principal sobre la influencia del espesor de recubrimiento en la carbonatación. Complementariamente, en SPSS v.26 se determinaron los coeficientes de correlación de Spearman, con el fin de profundizar en la relación entre indicadores de carbonatación y factores propios de la edificación y del ambiente.

a) Hipótesis de estudio.

La hipótesis de investigación es: *En las viviendas de la ciudad de Chota, la carbonatación por intemperización de las columnas de concreto armado aumenta significativamente cuando disminuye el espesor de recubrimiento.* La cual se ha representado de forma estadística de la siguiente manera:

Hipótesis nula (H_0):

Las distribuciones (o medianas) de la carbonatación son iguales entre los diferentes espesores de recubrimiento.

Hipótesis alternativa (H_1):

La carbonatación aumenta significativamente en los grupos con menor espesor de recubrimiento, es decir, existe diferencia estadística entre las medianas de los grupos.

b) Criterio de aceptación o rechazo.

Se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Si el valor de significancia de la prueba (p-valor) es menor a 0.05, se rechaza H_0 , indicando que existen diferencias significativas en los indicadores de carbonatación según el espesor de recubrimiento.

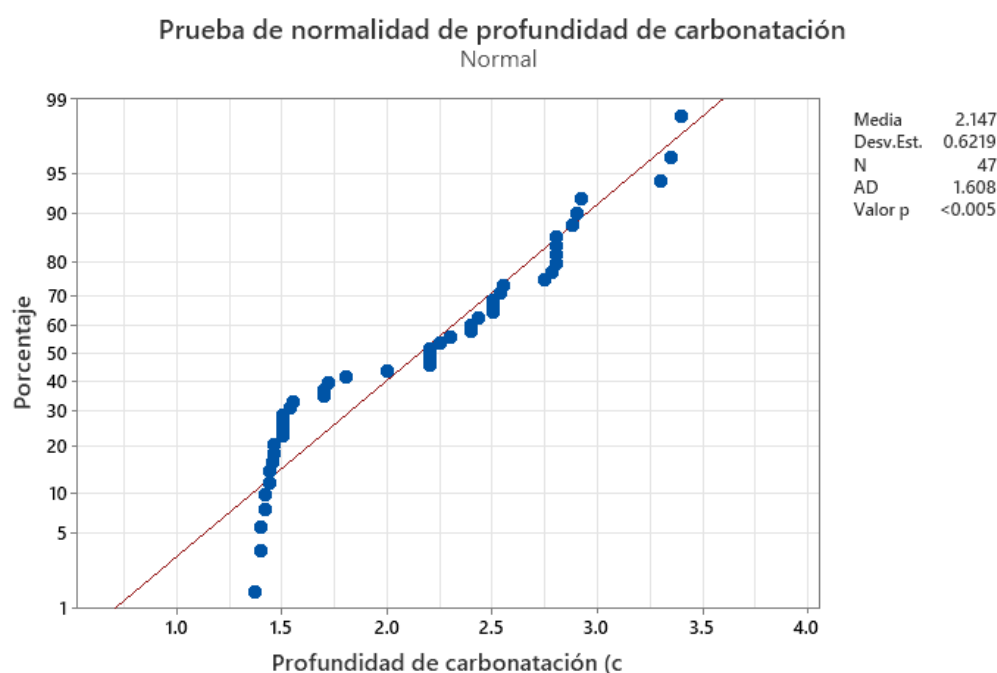
Si el p-valor es mayor a 0.05, no se rechaza H_0 , lo que implica que los espesores comparados no presentan diferencias estadísticamente significativas.

c) Evaluación de la normalidad.

Previamente se evaluó la distribución de los datos mediante las pruebas Kolmogorov–Smirnov y Shapiro–Wilk, obteniéndose valores de significancia inferiores a 0.05 en la mayoría de los indicadores. Estos resultados evidenciaron que los datos no siguen una distribución normal, condición que justifica el empleo de la prueba no paramétrica basada en rangos de Kruskal–Wallis.

Figura 61

Prueba de normalidad de la profundidad de carbonatación



d) Prueba de Kruskal-Wallis.

La prueba de Kruskal–Wallis permitió evaluar si los indicadores de carbonatación difieren significativamente según los distintos espesores de recubrimiento. Los resultados mostraron un valor $H = 28.18$ (ajustado por empates) con $GL = 6$ y un valor $p = 0.000$, el cual es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Bajo este criterio, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis

alternativa (H_1), infiriendo que al menos una de las medianas de los grupos es significativamente diferente. Esta diferencia estadística indica que el espesor de recubrimiento influye de manera significativa en la carbonatación del concreto, y específicamente respalda que los menores espesores presentan mayores niveles de carbonatación. Aunque se señala que la aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta en muestras con menos de cinco elementos por grupo, el resultado mantiene un nivel de significancia suficiente para validar la tendencia observada.

Tabla 35

Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y profundidad de carbonatación

Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	6	28.12	0.000
Ajustado para empates	6	28.18	0.000

Tabla 36

Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y porcentaje de carbonatación

Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	6	26.36	0.000
Ajustado para empates	6	26.41	0.000

Tabla 37

Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y velocidad de carbonatación

Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	6	35.36	0.000
Ajustado para empates	6	35.40	0.000

Tabla 38

Prueba de Kruskal-Wallis para recubrimiento y años para que la carbonatación afecte al espesor de recubrimiento no carbonatado

Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	6	26.73	0.000
Ajustado para empates	6	26.79	0.000

e) Correlaciones de Spearman complementarias.

Para fortalecer la interpretación estadística y explorar la relación entre variables estructurales y ambientales, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman, adecuados para datos no paramétricos. Este análisis permitió identificar la magnitud y dirección de asociación entre la carbonatación y variables tales como antigüedad, número de pisos, uso de la edificación, temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂. Los resultados complementaron la prueba de hipótesis al mostrar tendencias consistentes: la carbonatación aumenta con mayor antigüedad, menor recubrimiento y mayores niveles de CO₂ ambiental.

Tabla 39

Base de datos para el análisis de correlación de Spearman

Viv.	Uso	Uso_cód	Niveles	Antigüedad	Estado vivienda	Estado_cod	Nº columnas	Ub._columna	Ub._columna_cód.	Punto	Altura ensayo (m)	Recubrimiento (cm)	Carbonatación (cm)	Δ Diferencia	% carbonatación	Velocidad de carbonatación (cm/√año)	Años para que la carbonatación afecte toto el recubrimiento (Tiempo_recub)	Años para que se afecte el área no carbonatada (Tiempo_NC)	pH muestra carbonatada (Mi)	pH muestra no carbonatada (Mii)	Resistencia a compresión gráfica (kg/cm2)	Resistencia a compresión corregida (kg/cm2)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	CO2 (ppm)
1	Multifamiliar	2	3	12	Regular	2	7	Esquinada	1	3	1.65	3.50	2.80	0.70	0.80	0.808	18.75	0.75	9.45	12.17	214	166	24	55	437
1	Multifamiliar	2	3	12	Regular	2	7	Esquinada	1	2	1.1	3.50	2.75	0.75	0.79	0.794	19.44	0.89	9.43	11.97	215	167	24	55	437
1	Multifamiliar	2	3	12	Regular	2	7	Esquinada	1	1	0.55	3.50	2.80	0.70	0.80	0.808	18.75	0.75	9.41	11.99	212	164	24	55	437
2	Multifamiliar	2	2	4	Bueno	3	10	Excéntrica	3	3	1.73	4.00	1.46	2.54	0.37	0.730	30.02	12.11	11.55	12.17	275	218	20	60	405
2	Multifamiliar	2	2	4	Bueno	3	10	Excéntrica	3	2	1.15	4.00	1.40	2.60	0.35	0.700	32.65	13.80	11.50	11.97	272	215	20	60	405
2	Multifamiliar	2	2	4	Bueno	3	10	Excéntrica	3	1	0.58	4.00	1.44	2.56	0.36	0.720	30.86	12.64	11.70	11.99	271	214	20	60	405
3	Unifamiliar	1	3	8	Regular	2	7	Esquinada	1	3	1.88	3.50	2.20	1.30	0.63	0.778	20.25	2.79	10.04	12.17	236	184	21	55	417
3	Unifamiliar	1	3	8	Regular	2	7	Esquinada	1	2	1.25	3.50	2.20	1.30	0.63	0.778	20.25	2.79	10.03	11.97	230	179	21	55	417
3	Unifamiliar	1	3	8	Regular	2	7	Esquinada	1	1	0.63	3.50	2.20	1.30	0.63	0.778	20.25	2.79	10.03	11.99	224	174	21	55	417
4	Multifamiliar	2	2	7	Regular	2	10	Esquinada	1	3	1.73	3.00	1.54	1.46	0.51	0.582	26.56	6.29	10.52	12.00	242	189	29	39	406
4	Multifamiliar	2	2	7	Regular	2	10	Esquinada	1	2	1.15	3.00	1.44	1.56	0.48	0.544	30.38	8.22	10.48	11.28	244	191	29	39	406
4	Multifamiliar	2	2	7	Regular	2	10	Esquinada	1	1	0.58	3.00	1.50	1.50	0.50	0.567	28.00	7.00	10.50	11.94	239	187	29	39	406
5	Unifamiliar	1	3	8	Regular	2	9	Esquinada	1	3	1.65	3.50	2.50	1.00	0.71	0.884	15.68	1.28	10.02	11.44	223	173	22	55	426
5	Unifamiliar	1	3	8	Regular	2	9	Esquinada	1	2	1.10	3.50	2.40	1.10	0.69	0.849	17.01	1.68	9.95	11.97	236	184	22	55	426
5	Unifamiliar	1	3	8	Regular	2	9	Esquinada	1	1	0.55	3.50	2.50	1.00	0.71	0.884	15.68	1.28	10.05	11.26	230	179	22	55	426
6	Comercio	3	4	4	Bueno	3	10	Centrada	2	3	1.80	4.00	1.46	2.54	0.37	0.730	30.02	12.11	11.20	11.95	269	213	18	60	405
6	Comercio	3	4	4	Bueno	3	10	Centrada	2	2	1.20	4.00	1.42	2.58	0.36	0.710	31.74	13.20	11.40	13.06	274	217	18	60	405
6	Comercio	3	4	4	Bueno	3	10	Centrada	2	1	0.60	4.00	1.50	2.50	0.38	0.750	28.44	11.11	11.60	12.1	268	212	18	60	405
7	Unifamiliar	1	3	20	Regular	2	4	Esquinada	1	3	1.50	3.50	3.40	0.10	0.97	0.760	21.19	0.02	8.90	11.95	170	126	21	65	497
7	Unifamiliar	1	3	20	Regular	2	4	Esquinada	1	2	1.00	3.50	3.30	0.20	0.94	0.738	22.50	0.07	8.90	12.02	176	132	21	65	497
7	Unifamiliar	1	3	20	Regular	2	4	Esquinada	1	1	0.50	3.50	3.35	0.15	0.96	0.749	21.83	0.04	8.80	10.63	174	130	21	65	497
8	Multifamiliar	2	2	15	Regular	2	10	Esquinada	1	3	1.73	3.50	2.92	0.58	0.83	0.754	21.55	0.59	9.12	11.42	199	153	25	50	488
8	Multifamiliar	2	2	15	Regular	2	10	Esquinada	1	2	1.15	3.50	2.90	0.60	0.83	0.749	21.85	0.64	9.14	11.93	203	156	25	50	488
8	Multifamiliar	2	2	15	Regular	2	10	Esquinada	1	1	0.58	3.50	2.88	0.62	0.82	0.744	22.15	0.70	9.10	11.11	203	156	25	50	488
9	Comercio	3	7	10	Bueno	3	12	Excéntrica	3	3	1.73	2.50	1.70	0.80	0.68	0.538	21.63	2.21	9.70	11.7	221	172	25	61	410
9	Comercio	3	7	10	Bueno	3	12	Excéntrica	3	2	1.15	2.50	1.70	0.80	0.68	0.538	21.63	2.21	9.85	11.87	218	169	25	61	410
9	Comercio	3	7	10	Bueno	3	12	Excéntrica	3	1	0.58	2.50	1.72	0.78	0.69	0.544	21.13	2.06	9.90	11.9	220	171	25	61	410
10	Unifamiliar	1	1	12	Regular	2	7	Esquinada	1	3	1.89	3.50	2.80	0.70	0.80	0.808	18.75	0.75	9.41	12.1	211	163	20	60	439
10	Unifamiliar	1	1	12	Regular	2	7	Esquinada	1	2	1.26	3.50	2.80	0.70	0.80	0.808	18.75	0.75	9.40	12.11	209	161	20	60	439
10	Unifamiliar	1	1	12	Regular	2	7	Esquinada	1	1	0.63	3.50	2.78	0.72	0.79	0.803	19.02	0.80	9.45	12.05	209	161	20	60	439
11	Unifamiliar	1	3	5	Bueno	3	8	Esquinada	1	3	1.28	3.50	1.55	1.95	0.44	0.693	25.49	7.91	10.80	12.12	256	201	18	69	405
11	Unifamiliar	1	3	5	Bueno	3	8	Esquinada	1	2	0.85	3.50	1.45	2.05	0.41	0.648	29.13	9.99	10.90	12.14	252	198	18	69	405
11	Unifamiliar	1	3	5	Bueno	3	8	Esquinada	1	1	0.43	3.50	1.50	2.00	0.43	0.671	27.22	8.89	10.80	12.08	247	194	18	69	405
12	Unifamiliar	1	5	8	Bueno	3	11	Excéntrica	3	3	1.58	2.00	1.40	0.60	0.70	0.495	16.33	1.47	9.60	11.79	227	177	23	52	400
12	Unifamiliar	1	5	8	Bueno	3	11	Excéntrica	3	2	1.05	2.00	1.37	0.63	0.69	0.484	17.05	1.69	9.80	11.88	229	178	23	52	400
12	Unifamiliar	1	5	8	Bueno	3	11	Excéntrica	3	1	0.53	2.00	1.42	0.58	0.71	0.502	15.87	1.33	9.50	11.93	224	174	23	52	400
13	Unifamiliar	1	2	8	Bueno	3	11	Excéntrica	3	3	1.77	3.50	2.30	1.20	0.66	0.813	18.53	2.18	10.10	10.58	229	178	25	49	421
13	Unifamiliar	1	2	8	Bueno	3	11	Excéntrica	3	2	1.18	3.50	2.20	1.30	0.63	0.778	20.25	2.79	10.20	10.7	230	179	25	49	421
13	Unifamiliar	1	2	8	Bueno	3	11	Excéntrica	3	1	0.59	3.50	2.25	1.25	0.64	0.795	19.36	2.47	10.30	10.9	230	179	25	49	421
14	Unifamiliar	1	2	40	Regular	2	6	Esquinada	1	3	1.50	1.00	1.80	-0.80	1.80	0.285	12.35	0.00	8.40	10.47	140	100	27	40	411
14	Unifamiliar	1	2	40	Regular	2	6	Esquinada	1	2	1.00	1.00	1.50	-0.50	1.50	0.237	17.78	0.00	8.70	10.12	152	110	27	40	411
14	Unifamiliar	1	2	40	Regular	2	6	Esquinada	1	1	0.50	1.00	2.00	-1.00	2.00	0.316	10.00	0.00	8.20	10	132	94	27	40	411
15	Unifamiliar	1	3	12	Regular	2	6	Centrada	2	2	0.80	3.00	2.40	0.60	0.80	0.693	18.75	0.75	9.30	11.85	206	159	23	50	430
15	Unifamiliar	1	3	12	Regular	2	6	Centrada	2	1	0.40	3.00	2.43	0.57	0.81	0.701	18.29	0.66	9.35	11.51	206	159	23	50	430
16	Unifamiliar	1	5	17	Regular	2	11	Excéntrica	3	3	1.58	2.70	2.54	0.16	0.94	0.616	19.21	0.07	9.03	11.79	186	141	20	61	431
16	Unifamiliar	1	5	17	Regular	2	11	Excéntrica	3	2	1.05	2.70	2.50	0.20	0.93	0.606	19.83	0.11	9.05	11.11	190	145	20	61	431
16	Unifamiliar	1	5	17	Regular	2	11	Excéntrica	3	1	0.53	2.70	2.55	0.15	0.94	0.618	19.06	0.06	8.95	11.42	186	141	20	61	431

Tabla 40

Coefficientes de correlación de Spearman

Coefficientes de correlación de Spearman	Vivienda	Uso	Niveles	Antigüedad	Estado	Columnas	Ubicación	Punto	Altura	Recubrimiento	Carbonatación	Diferencia	Porcentaje_Cb	Velocidad	Tiempo_recub	Tiempo_NR	pH_Mi	pH_Mii	Resistencia_gráfica	Resistencia_corr	Temperatura	Humedad	CO2
Vivienda	1.000	-0.513	0.128	0.419	0.087	0.165	0.345	-0.038	-0.170	-0.590	0.020	-0.536	0.442	-0.427	-0.418	-0.448	-0.446	-0.518	-0.463	-0.463	0.051	-0.034	0.032
Uso	-0.513	1.000	0.123	-0.330	0.286	0.377	0.165	0.020	0.140	0.257	-0.228	0.417	-0.396	-0.119	0.593	0.415	0.367	0.223	0.344	0.344	0.151	0.016	-0.224
Niveles	0.128	0.123	1.000	-0.051	0.298	0.361	0.430	-0.006	-0.099	-0.276	-0.197	-0.084	-0.033	-0.308	-0.041	0.044	-0.008	0.024	0.028	0.028	-0.235	0.459	-0.263
Antigüedad	0.419	-0.330	-0.051	1.000	-0.647	-0.364	-0.239	-0.015	-0.129	-0.495	0.711	-0.938	0.973	-0.061	-0.511	-0.969	-0.981	-0.476	-0.988	-0.988	0.336	-0.062	0.744
Estado	0.087	0.286	0.298	-0.647	1.000	0.590	0.659	0.021	0.053	0.177	-0.685	0.539	-0.661	-0.260	0.350	0.664	0.639	0.157	0.625	0.625	-0.244	0.259	-0.730
Columnas	0.165	0.377	0.361	-0.364	0.590	1.000	0.744	0.035	0.126	-0.154	-0.404	0.273	-0.372	-0.270	0.179	0.380	0.368	-0.186	0.352	0.352	0.113	-0.005	-0.418
Ubicación	0.345	0.165	0.430	-0.239	0.659	0.744	1.000	-0.013	0.007	-0.144	-0.422	0.104	-0.250	-0.331	0.055	0.252	0.226	-0.206	0.211	0.211	-0.087	0.118	-0.409
Punto	-0.038	0.020	-0.006	-0.015	0.021	0.035	-0.013	1.000	0.944	0.019	0.001	0.018	-0.014	0.023	-0.008	0.008	0.006	0.136	0.038	0.038	-0.006	0.023	-0.014
Altura	-0.170	0.140	-0.099	-0.129	0.053	0.126	0.007	0.944	1.000	0.164	-0.008	0.179	-0.155	0.166	0.077	0.151	0.142	0.216	0.158	0.158	-0.020	-0.020	-0.014
Recubrimiento	-0.590	0.257	-0.276	-0.495	0.177	-0.154	-0.144	0.019	0.164	1.000	0.105	0.628	-0.504	0.683	0.534	0.494	0.544	0.541	0.523	0.523	-0.560	0.295	0.078
Carbonatación	0.020	-0.228	-0.197	0.711	-0.685	-0.404	-0.422	0.001	-0.008	0.105	1.000	-0.553	0.695	0.577	-0.271	-0.699	-0.647	-0.128	-0.683	-0.683	0.064	0.110	0.980
Diferencia	-0.536	0.417	-0.084	-0.938	0.539	0.273	0.104	0.018	0.179	0.628	-0.553	1.000	-0.971	0.205	0.630	0.968	0.971	0.527	0.953	0.953	-0.326	0.115	-0.572
Porcentaje_Cb	0.442	-0.396	-0.033	0.973	-0.661	-0.372	-0.250	-0.014	-0.155	-0.504	0.695	-0.971	1.000	-0.043	-0.607	-0.999	-0.980	-0.493	-0.975	-0.975	0.308	-0.103	0.714
Velocidad	-0.427	-0.119	-0.308	-0.061	-0.260	-0.270	-0.331	0.023	0.166	0.683	0.577	0.205	-0.043	1.000	-0.107	0.026	0.128	0.266	0.096	0.096	-0.237	0.065	0.537
Tiempo_recub	-0.418	0.593	-0.041	-0.511	0.350	0.179	0.055	-0.008	0.077	0.534	-0.271	0.630	-0.607	-0.107	1.000	0.618	0.552	0.421	0.528	0.528	-0.302	0.351	-0.254
Tiempo_NR	-0.448	0.415	0.044	-0.969	0.664	0.380	0.252	0.008	0.151	0.494	-0.699	0.968	-0.999	0.026	0.618	1.000	0.976	0.495	0.971	0.971	-0.299	0.106	-0.717
pH_Mi	-0.446	0.367	-0.008	-0.981	0.639	0.368	0.226	0.006	0.142	0.544	-0.647	0.971	-0.980	0.128	0.552	0.976	1.000	0.470	0.981	0.981	-0.306	0.078	-0.680
pH_Mii	-0.518	0.223	0.024	-0.476	0.157	-0.186	-0.206	0.136	0.216	0.541	-0.128	0.527	-0.493	0.266	0.421	0.495	0.470	1.000	0.499	0.499	-0.586	0.447	-0.181
Resistencia_gráfica	-0.463	0.344	0.028	-0.988	0.625	0.352	0.211	0.038	0.158	0.523	-0.683	0.953	-0.975	0.096	0.528	0.971	0.981	0.499	1.000	1.000	-0.324	0.067	-0.712
Resistencia_corr	-0.463	0.344	0.028	-0.988	0.625	0.352	0.211	0.038	0.158	0.523	-0.683	0.953	-0.975	0.096	0.528	0.971	0.981	0.499	1.000	1.000	-0.324	0.067	-0.712
Temperatura	0.051	0.151	-0.235	0.336	-0.244	0.113	-0.087	-0.006	-0.020	-0.560	0.064	-0.326	0.308	-0.237	-0.302	-0.299	-0.306	-0.586	-0.324	-0.324	1.000	-0.757	0.117
Humedad	-0.034	0.016	0.459	-0.062	0.259	-0.005	0.118	0.023	-0.020	0.295	0.110	0.115	-0.103	0.065	0.351	0.106	0.078	0.447	0.067	0.067	-0.757	1.000	0.041
CO2	0.032	-0.224	-0.263	0.744	-0.730	-0.418	-0.409	-0.014	-0.014	0.078	0.980	-0.572	0.714	0.537	-0.254	-0.717	-0.680	-0.181	-0.712	-0.712	0.117	0.041	1.000

Tabla 41

Valores sig. Bilateral para los coeficientes de correlación de Spearman

Valor p (Sig. Bilateral)	Vivienda	Uso	Niveles	Antigüedad	Estado	Columnas	Ubicación	Punto	Altura	Recubrimiento	Carbonatación	Diferencia	Porcentaje_Cb	Velocidad	Tiempo_recub	Tiempo_NR	pH_Mi	pH_Mii	Resistencia_gráfica	Resistencia_corr	Temperatura	Humedad	CO2
Vivienda		0.000	0.390	0.003	0.560	0.268	0.017	0.802	0.253	0.000	0.896	0.000	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.733	0.822	0.829
Uso	0.000		0.409	0.023	0.052	0.009	0.268	0.894	0.349	0.082	0.124	0.004	0.006	0.425	0.000	0.004	0.011	0.131	0.018	0.018	0.310	0.914	0.130
Niveles	0.390	0.409		0.735	0.042	0.013	0.003	0.968	0.508	0.060	0.185	0.574	0.826	0.035	0.783	0.770	0.959	0.872	0.853	0.853	0.112	0.001	0.074
Antigüedad	0.003	0.023	0.735		0.000	0.012	0.106	0.922	0.388	0.000	0.000	0.000	0.000	0.685	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.021	0.681	0.000
Estado	0.560	0.052	0.042	0.000		0.000	0.000	0.891	0.722	0.234	0.000	0.000	0.000	0.078	0.016	0.000	0.000	0.293	0.000	0.000	0.098	0.079	0.000
Columnas	0.268	0.009	0.013	0.012	0.000		0.000	0.814	0.399	0.300	0.005	0.063	0.010	0.067	0.228	0.008	0.011	0.211	0.015	0.015	0.451	0.973	0.003
Ubicación	0.017	0.268	0.003	0.106	0.000	0.000		0.930	0.964	0.334	0.003	0.488	0.091	0.023	0.715	0.087	0.126	0.165	0.154	0.154	0.562	0.431	0.004
Punto	0.802	0.894	0.968	0.922	0.891	0.814	0.930		0.000	0.901	0.995	0.905	0.925	0.876	0.960	0.956	0.970	0.363	0.800	0.800	0.969	0.877	0.923
Altura	0.253	0.349	0.508	0.388	0.722	0.399	0.964	0.000		0.270	0.959	0.229	0.297	0.265	0.609	0.310	0.343	0.145	0.290	0.290	0.894	0.893	0.925
Recubrimiento	0.000	0.082	0.060	0.000	0.234	0.300	0.334	0.901	0.270		0.483	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.604
Carbonatación	0.896	0.124	0.185	0.000	0.000	0.005	0.003	0.995	0.959	0.483		0.000	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000	0.390	0.000	0.000	0.667	0.462	0.000
Diferencia	0.000	0.004	0.574	0.000	0.000	0.063	0.488	0.905	0.229	0.000	0.000		0.000	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.442	0.000	
Porcentaje_Cb	0.002	0.006	0.826	0.000	0.000	0.010	0.091	0.925	0.297	0.000	0.000	0.000		0.775	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.492	0.000	
Velocidad	0.003	0.425	0.035	0.685	0.078	0.067	0.023	0.876	0.265	0.000	0.000	0.166	0.775		0.473	0.863	0.391	0.071	0.521	0.521	0.109	0.665	0.000
Tiempo_recub	0.003	0.000	0.783	0.000	0.016	0.228	0.715	0.960	0.609	0.000	0.066	0.000	0.000	0.473		0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.039	0.016	0.085
Tiempo_NR	0.002	0.004	0.770	0.000	0.000	0.008	0.087	0.956	0.310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.863	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.480	0.000
pH_Mi	0.002	0.011	0.959	0.000	0.000	0.011	0.126	0.970	0.343	0.000	0.000	0.000	0.000	0.391	0.000	0.000		0.001	0.000	0.000	0.036	0.603	0.000
pH_Mii	0.000	0.131	0.872	0.001	0.293	0.211	0.165	0.363	0.145	0.000	0.390	0.000	0.000	0.071	0.003	0.000	0.001		0.000	0.000	0.000	0.002	0.223
Resistencia_gráfica	0.001	0.018	0.853	0.000	0.000	0.015	0.154	0.800	0.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000	0.000	0.000		0.026	0.657	0.000	
Resistencia_corr	0.001	0.018	0.853	0.000	0.000	0.015	0.154	0.800	0.290	0.000	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026		0.657	0.000	
Temperatura	0.733	0.310	0.112	0.021	0.098	0.451	0.562	0.969	0.894	0.000	0.667	0.025	0.035	0.109	0.039	0.041	0.036	0.000	0.026	0.026	0.000		0.435
Humedad	0.822	0.914	0.001	0.681	0.079	0.973	0.431	0.877	0.893	0.044	0.462	0.442	0.492	0.665	0.016	0.480	0.603	0.002	0.657	0.657	0.000	0.786	
CO2	0.829	0.130	0.074	0.000	0.000	0.003	0.004	0.923	0.925	0.604	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.000	0.000	0.223	0.000	0.000	0.435	0.786	

4.3. Discusión

La carbonatación en las columnas de las viviendas de la ciudad de Chota alcanza en promedio 2.15 cm, equivalente al 74.21% del recubrimiento, con velocidades entre 0.28 y 0.87 cm/año y casos críticos donde la profundidad supera el espesor protector, especialmente en recubrimientos de 1.0–2.0 cm. Este comportamiento coincide con Hasan et al. (2025), quienes observaron que profundidades superiores al 50% del recubrimiento se asocian a pérdida de pasivación y corrosión severa del acero, lo cual es consistente con los índices de riesgo altos identificados en viviendas antiguas o con baja calidad constructiva en Chota. Asimismo, el aumento de la profundidad de carbonatación con la antigüedad observado en este estudio concuerda con Hossain et al. (2024), quienes demostraron que edificaciones de 17 a 73 años presentaban profundidades crecientes de 4 a 12 cm, evidenciando una relación directa entre edad, baja resistencia del concreto y avance del frente carbonatado. De igual modo, la variabilidad de velocidades hallada en Chota concuerda con Lau et al. (2024), quienes verificaron que la propagación de la carbonatación depende fuertemente del estado higroscópico del concreto, pudiendo acelerarse en condiciones alternadas de humedad y secado como las predominantes en la región.

La asociación entre menor recubrimiento y mayor deterioro encontrada en este estudio coincide con Pérez et al. (2020) en México, quienes observaron profundidades de 2 cm suficientes para alcanzar la armadura en columnas con recubrimientos deficientes (1–5 cm), situación similar a lo evidenciado en las viviendas 7, 8, 10, 14 y 16 de Chota, donde la vida útil remanente se reduce prácticamente a cero años. La tendencia también se alinea con Dadd et al. (2025), quienes demostraron que la vida útil disminuye significativamente cuando el recubrimiento no supera los 45–70 mm en concretos expuestos a condiciones ambientales adversas. A nivel nacional, la

disminución del pH conforme aumenta la profundidad de carbonatación coincide con Rojas (2022), quien evidenció que mayores avances del frente carbonatado reducen la resistencia y alcalinidad del material. En concordancia, Altamirano (2024), mostró que elementos de menor sección y menor protección superficial presentan incrementos significativos en la profundidad de carbonatación, coherente con la vulnerabilidad observada en columnas con recubrimiento ≤ 2.7 cm en Chota.

La resistencia a compresión en las columnas de las viviendas de Chota disminuye de manera consistente conforme avanza la carbonatación, mostrando correlaciones negativas muy fuertes con la antigüedad ($r = -0.988$), el porcentaje de recubrimiento carbonatado ($r = -0.975$) y el índice de riesgo ($r = -0.975$), lo que confirma que la degradación superficial inducida por la intemperización compromete progresivamente la capacidad mecánica del concreto. Esta tendencia coincide con Hossain et al. (2024), quienes demostraron que concretos de menor resistencia y mayor antigüedad presentan mayores profundidades de carbonatación y reducciones significativas de resistencia, y con Hasan et al. (2025), quienes reportaron que la corrosión severa inducida por carbonatación en zonas con penetración superior al 50% del recubrimiento se asocia claramente a pérdida de capacidad resistente. Asimismo, Pérez et al. (2020) mostraron que recubrimientos insuficientes (1–5 cm) permiten que la carbonatación alcance rápidamente el acero, afectando la resistencia estructural, lo cual se replica en casos críticos de Chota, como la Vivienda 14, donde el recubrimiento de 1 cm coincide con la resistencia más baja (101.43 kg/cm²). La relación directa entre mayor daño carbonatado y menor resistencia también ha sido documentada en ambientes marinos y urbanos por Dadd et al. (2025) y Saura-Gómez et al. (2022), reforzando que la pérdida de alcalinidad y el avance del frente carbonatado predicen adecuadamente el deterioro mecánico del concreto.

En este contexto, Rojas (2022) verificó que concretos sometidos a mayor carbonatación presentan reducciones marcadas de resistencia, asociadas directamente a la caída del pH, similar al comportamiento observado en Chota, donde la resistencia presenta correlación positiva muy fuerte con el pH carbonatado ($r = 0.981$). La carbonatación constituye un mecanismo dominante de degradación estructural en las viviendas estudiadas: a menor recubrimiento y mayor profundidad de carbonatación, menor resistencia a compresión.

La concentración de CO_2 ambiental en las viviendas de Chota es el factor externo con mayor influencia sobre la profundidad de carbonatación, presentando correlación positiva muy fuerte ($r = 0.980$) y un ajuste estadístico sobresaliente ($R^2 = 0.9539$). Esta evidencia coincide con Lau et al. (2024) quienes demostraron que la penetración del frente carbonatado se acelera cuando el concreto se expone a atmósferas enriquecidas con CO_2 , incluso bajo condiciones de humedad controlada; mientras que Dudi y Bishnoi (2024) verificaron que concentraciones superiores a 400 ppm inducen modificaciones químicas más rápidas en el gel C-S-H, lo que explica por qué las viviendas de Chota con niveles cercanos a 500 ppm presentan carbonataciones superiores a 3 cm. De igual manera, Dadd et al. (2025) reportaron profundidades mayores de carbonatación en concretos con mayor permeabilidad expuestos a CO_2 durante largos periodos, lo cual se refleja en las columnas con recubrimiento reducido y CO_2 elevado en Chota. El patrón observado también guarda coherencia con Hasan et al. (2025), que identificó carbonatación crítica en zonas marinas donde la acumulación superficial de CO_2 favorecía la corrosión, lo que refuerza que la calidad del ambiente exterior condiciona la degradación del recubrimiento. Asimismo, Pérez et al. (2020), registraron carbonatación en ambientes confinados con CO_2 acumulado, respaldando el comportamiento de viviendas ubicadas en sectores con menor ventilación.

En contraste, la humedad relativa y la temperatura mostraron en Chota un efecto mucho más débil sobre la carbonatación, con correlaciones prácticamente nulas ($r = 0.110$ y $r = 0.064$, respectivamente). Esta baja incidencia se explica porque ambas variables se mantienen en rangos relativamente acotados y sin cambios bruscos en el entorno urbano local. Sin embargo, la tendencia identificada, máxima actividad de carbonatación entre 45% y 65% de humedad y entre 22–25 °C, lo que coincide con los mecanismos descritos en la literatura. Lau et al. (2024) establecieron que la reacción carbonatada es mínima en condiciones saturadas o muy secas, pero se intensifica en humedades intermedias, asimismo, Hossain et al. (2024) asociaron mayores profundidades de carbonatación a condiciones ambientales templadas y concretos permeables, lo que coincide con las viviendas expuestas a temperaturas moderadas en sectores más cálidos. La variabilidad ambiental registrada por Altamirano (2024) en Cajamarca, donde 399 ppm de CO₂ generaron carbonataciones menores a 2 mm, refuerza que incrementos modestos de CO₂ producen incrementos significativos del frente carbonatado, exactamente como se evidencia en Chota cuando el CO₂ supera los 450 ppm. Por tanto, aunque la humedad y la temperatura modulan la reacción, el CO₂ es el principal agente acelerador de la carbonatación en las viviendas evaluadas.

La antigüedad de la edificación es el factor propio de mayor incidencia en la carbonatación, evidenciando correlaciones muy fuertes con la profundidad carbonatada, el porcentaje de penetración del recubrimiento y el descenso del pH. Este comportamiento coincide con Hossain et al. (2024), quienes demostraron que la profundidad de carbonatación aumenta de manera proporcional con la edad del concreto, alcanzando valores críticos en estructuras antiguas y de baja resistencia; asimismo, Saura-Gómez et al. (2022) y Saura et al. (2023) evidenciaron que elementos con décadas de exposición presentan carbonatación completa del recubrimiento, aun en

ambientes catalogados como no agresivos, reflejando un deterioro acumulativo inevitable con el paso del tiempo. Las viviendas de Chota con 15 a 20 años muestran porcentajes de carbonatación superiores al 90% del recubrimiento disponible, lo que coincide también con Pérez et al. (2020) y Zambrano (2023), quienes asociaron recubrimientos deficientes y la edad estructural como los principales detonantes de la despasivación del acero. La marcada reducción del pH observada en edificaciones antiguas en Chota (de 11.4 en viviendas jóvenes a 8.4 en viviendas de 40 años) reproduce el patrón señalado por Iraola et al. (2023), donde el deterioro químico por carbonatación se intensifica a medida que la estructura envejece sin mantenimiento.

Otros factores propios de la edificación, como el uso, la ubicación de las columnas y el estado de conservación, también muestran influencia en la carbonatación, aunque en menor magnitud. Las viviendas unifamiliares, más expuestas y con geometrías abiertas, presentan mayor profundidad carbonatada, en concordancia con Saura et al. (2023), quienes identificaron que los elementos expuestos al viento y lluvia presentan mayores tasas de carbonatación. Del mismo modo, las columnas esquinadas mostraron el deterioro más severo, lo que se alinea con Hasan et al. (2025) en zonas marinas, donde la exposición directa a agentes externos incrementó la pérdida del recubrimiento efectivo. El estado de conservación también demostró ser un modulador: viviendas en estado regular alcanzan profundidades de carbonatación superiores en más del 50%, patrón que coincide con Pérez et al. (2020), quienes relacionaron fisuración, desgaste superficial y falta de mantenimiento con carbonatación acelerada. Finalmente, el hecho de que el número de pisos no muestre correlación con la carbonatación confirma la evidencia previa de Dudi y Bishnoi (2024), quienes reportaron que el deterioro está dominado por la exposición ambiental y la calidad del recubrimiento, más que por la altura o configuración volumétrica de la edificación.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El análisis de la carbonatación por intemperización en las columnas de concreto armado de las viviendas de la ciudad de Chota confirma que el espesor de recubrimiento influye en el nivel de deterioro del concreto, dado que la prueba estadística evidenció diferencias significativas ($p = 0.000$). En promedio, la profundidad de carbonatación alcanzó 2.15 cm, equivalente al 74.21% del recubrimiento, con una velocidad media de 0.68 cm/ $\sqrt{\text{año}}$. Asimismo, la carbonatación redujo la alcalinidad del concreto y se asoció con una disminución de la resistencia a la compresión, cuyo valor promedio fue de 169.91 kg/cm², inferior al f'_c esperado. Entre las condiciones ambientales, la concentración de CO₂ fue el factor externo más influyente en el avance de la carbonatación ($r = 0.980$), mientras que, entre los factores propios de la edificación, la antigüedad presentó la mayor asociación con el deterioro, lo que incrementó la profundidad y el porcentaje de carbonatación. En cambio, el número de pisos no mostró una influencia determinante, debido a sus correlaciones débiles, y el uso de la edificación presentó una incidencia limitada. Las conclusiones específicas son:

- 1) La profundidad y la tasa de carbonatación en las columnas de concreto armado de las viviendas de Chota alcanza en promedio 2.15 cm, equivalente al 74.21% del recubrimiento, con velocidad media de 0.68 cm/ $\sqrt{\text{año}}$, lo que manifiesta deterioro significativo en la mayoría de estructuras evaluadas. Los recubrimientos reducidos (≤ 2.70 cm) presentan condiciones críticas, destacando el caso de 1 cm, en el que la carbonatación supera por completo el recubrimiento (176.67%, IR = 1.77), dejando sin protección a la armadura. En contraste, los recubrimientos de 4.00 cm mantienen el riesgo más bajo (IR = 0.36) y los tiempos de protección más largos (30 años). Asimismo, el descenso del pH carbonatado (promedio de 9.86, mínimos de 8.43)

confirma la pérdida progresiva de alcalinidad y la despasivación del acero en las viviendas con mayor avance del frente carbonatado.

- 2) La carbonatación tiene un efecto directo y significativamente negativo sobre la resistencia a la compresión del concreto en las columnas evaluadas, especialmente cuando el espesor de recubrimiento es reducido. La resistencia corregida promedio alcanza solo 169.91 kg/cm² (80.91% del f'_c esperado), lo que evidencia una pérdida mecánica generalizada asociada al avance del frente carbonatado. Las viviendas con recubrimientos insuficientes, como la de 1 cm, presentan los valores más críticos, con resistencias mínimas de 101.43 kg/cm², mientras que las viviendas con recubrimientos de 4.00 cm mantienen resistencias corregidas superiores a 214 kg/cm². La correlación negativa muy fuerte entre la resistencia y la antigüedad ($r = -0.988$), el porcentaje carbonatado ($r = -0.975$) y la profundidad de carbonatación ($r = -0.683$) demuestra que, conforme la carbonatación progresa y el pH disminuye, la capacidad mecánica del concreto se reduce de manera sostenida. Un menor recubrimiento acelera la pérdida de alcalinidad y deteriora la resistencia a la compresión del concreto.
- 3) La concentración de dióxido de carbono (CO₂) es el factor ambiental que ejerce la mayor influencia en el avance de la carbonatación del concreto. La correlación muy fuerte entre CO₂ y la profundidad de carbonatación ($r = 0.980$) confirma que un incremento del CO₂ ambiental acelera significativamente la penetración del frente carbonatado, reduciendo la reserva de recubrimiento ($r = -0.573$) y disminuyendo de forma marcada los años estimados de vida útil del concreto antes de que la carbonatación alcance la armadura ($r = -0.715$). En contraste, la humedad relativa y la temperatura presentan efectos marginales: sus correlaciones con la profundidad carbonatada son muy bajas ($r = 0.110$ y $r = 0.064$, respectivamente), lo que indica

que, bajo el clima típico de Chota, estas variables no generan variaciones suficientes para modificar de manera significativa el proceso de carbonatación. Sin embargo, ambos factores sí modulan la cinética de la carbonatación en rangos específicos: humedades de 50–65% y temperaturas de 22–24 °C incrementan la velocidad de reacción, aunque no constituyen determinantes directos.

- 4) La antigüedad de la edificación fue el factor propio más determinante en el avance de la carbonatación de las columnas de concreto armado, al presentar una correlación fuerte con la profundidad carbonatada ($r = 0.711$), una correlación muy fuerte con el porcentaje de recubrimiento afectado ($r = 0.974$) y una correlación negativa muy fuerte con el pH de la muestra carbonatada ($r = -0.980$). Esto demuestra que, a medida que aumenta la edad de las viviendas, disminuye la alcalinidad del concreto y se reduce la reserva protectora del recubrimiento. En edificaciones con 12 a 20 años de antigüedad, el tiempo estimado para que la carbonatación alcance la armadura se redujo a menos de dos años, mientras que en la vivienda de 40 años dicho tiempo fue de cero. Respecto al número de pisos, las correlaciones fueron débiles o muy débiles con los indicadores de carbonatación, por lo que no constituyó un factor determinante del deterioro observado. En cuanto al uso de la edificación, las viviendas unifamiliares presentaron una mayor profundidad promedio de carbonatación (2.26 cm), un mayor porcentaje de recubrimiento afectado (83.78%) y un menor tiempo de protección del recubrimiento no carbonatado (1.91 años), en comparación con las edificaciones multifamiliares y de comercio; sin embargo, su influencia estadística fue limitada. Por tanto, entre los factores propios de la edificación, la antigüedad fue el principal condicionante del avance de la carbonatación, mientras que el número de pisos y el uso tuvieron una incidencia secundaria.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda incrementar el espesor de recubrimiento a más de 4.00 cm en futuras edificaciones, considerando que este espesor mostró el mejor desempeño frente a la intemperización. En viviendas existentes con recubrimientos ≤ 2.70 cm, se sugiere implementar selladores superficiales, morteros de reparación y barreras hidrófugas para reducir la permeabilidad y frenar el avance del frente carbonatado.

Se recomienda programar evaluaciones periódicas de resistencia in situ (p. ej., esclerometría calibrada con testigos) en viviendas con recubrimiento reducido, a fin de detectar pérdidas mecánicas tempranas. Para estructuras con resistencias corregidas inferiores a 150 kg/cm², se sugiere aplicar técnicas de rehabilitación como encamisados delgados, morteros poliméricos o refuerzo con FRP.

En sectores con concentraciones superiores a 450 ppm, es aconsejable emplear recubrimientos protectores de baja permeabilidad (silanos, siloxanos o recubrimientos acrílicos) para limitar la difusión del CO₂ hacia el concreto.

Se recomienda que las edificaciones con más de 12 años incluyan un plan de mantenimiento preventivo, con inspección del recubrimiento, sellado de fisuras y evaluación de la alcalinidad residual del concreto. De igual forma, las columnas ubicadas en esquinas deben recibir protección adicional, ya sea mediante revestimientos o sistemas de fachada, para reducir la acción directa de la intemperie y prolongar la vida útil estructural.

REFERENCIAS

- Aceros Arequipa. (2023). *Haz el mejor recubrimiento para el refuerzo*. Construyendo seguro.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en tabasco*, 11(1-2), 333-3338. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Alshaeer, H. A., Irwan, J. M., Alshalif, A. F., Al-Fakih, A., Ewais, D. Y., Salmi, A., & Alhokabi, A. A. (2022). Review on carbonation study of reinforcement concrete incorporating with bacteria as self-healing approach. *Materials*, 15(16), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ma15165543>
- Alshalif, A. F., Irwan, J. M., Othman, N., Zamer, M. M., & Anneza, L. H. (2017). Carbon dioxide (CO₂) sequestration in bio-concrete, an overview. *MATEC web of conferences*, 103(1), 1-8. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201710305016>
- Altamirano, K. E. (2024). *Influencia de las dimensiones de la sección del elemento de concreto en la profundidad de Carbonatación*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/7309/TESIS%20-%20ALTAMIRANO%20GUEVARA%20KEVIN%20ERWIN.pdf?sequence=1>
- Arpa, A. D., & Del Carpio, F. A. (2022). *Análisis y propuesta de solución de patologías estructurales en las viviendas de la Asociación José Abelardo Quiñones, distrito de Alto de la Alianza, Tacna 2021*. [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/2781>
- Babiche, I. (2004). Carbonatación del recubrimiento de concreto. *Instituto Peruano de Energía Nuclear*, 1(1), 41-45. <https://hdl.handle.net/20.500.13054/385>
- Balam, N. H., Mostofinejad, D., & Eftekhar, M. (2017). Use of carbonate precipitating bacteria to reduce water absorption of aggregates. *Construction and Building Materials*, 141(1), 565-577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.042>
- Bao, H., Yu, M., Xu, L., Saafi, M., & Ye, J. (2019). Experimental study and multi-physics modelling of concrete under supercritical carbonation. *Construction and Building Materials*, 227(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116680>
- Boualleg, S., Bencheikh, M., Belagraa, L., Daoudi, A., & Chikouche, M. A. (2017). The combined effect of the initial cure and the type of cement on the natural carbonation, the portlandite content, and nonevaporable water in blended cement. *Advances in*

- Materials Science and Engineering*, 2017(1), 1-18.
<https://doi.org/10.1155/2017/5634713>
- Bucher, R., Diederich, P., Escadeillas, G., & Cyr, M. (2017). Service life of metakaolin-based concrete exposed to carbonation: Comparison with blended cement containing fly ash, blast furnace slag and limestone filler. *Cement and Concrete Research*, 99(1), 18-29.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.04.013>
- Bui, H., Delattre, F., & Levacher, D. (2023). Experimental Methods to Evaluate the Carbonation Degree in Concrete—State of the Art Review. *Applied Sciences*, 13(4), 1-19. <https://doi.org/10.3390/app13042533>
- Burga, J. (2022). *Evaluación del rendimiento y productividad de la mano de obra en la partida de asentado de ladrillo en la construcción de viviendas de la ciudad de Chota*. [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/204>
- Busquets, D. J. (2009). *Introducción a la difusión en estado sólido. 1ª Ley de Fick*. Universidad Politecnica de Valencia: <http://hdl.handle.net/10251/5381>
- Castillo, E. (2022). *Investigación de las causas de fallas y daños a la estructura de una edificación de 4 plantas, aplicando los respectivos ensayos y soluciones para su rehabilitación*. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54240>
- Chahal, N., Rajor, A., & Siddique, R. (2011). Calcium carbonate precipitation by different bacterial strains. *African Journal of Biotechnology*, 10(42), 8359-8372.
<https://doi.org/10.5897/AJB11.345>
- Chi, J. M., Huang, R., & Yang, C. C. (2002). Effects of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method. *Journal of marine science and technology*, 10(1), 1-3. <https://doi.org/10.51400/2709-6998.2296>
- CPC-18. (1988). CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth. *Materials and Structures*, 21(1), 453-455. <https://doi.org/10.1007/BF02472327>
- Dadd, L., Visintin, P., Bennett, B., & Xie, T. (2025). Characterisation of shrinkage, carbonation and chloride penetration in multi-generation recycled aggregate concrete at equivalent compressive strengths. *Construction and Building Materials*, 474(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141111>
- D'Andrea, R. (2010). *Predicción de la durabilidad del hormigón armado a partir de indicadores de corrosión: aplicación de la resistividad eléctrica*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.3704>

- De Andrade, C. (2021). Plan de conservación preventiva para el edificio Vilanova Artigas. *Textos de Tecnología Experimentación*, 99-111. https://www.researchgate.net/publication/357334253_Plan_de_Conservacion_Preventiva_para_el_Edificio_Vilanova_Artigas_-_Investigacion_sobre_el_hormigon_visto_de_las_fachadas_del_edificio?enrichId=rgreq-9eba180b08dd4c983001f5f832a85307-XXX&enrichSource=Y292
- De Belie, N. (2016). Application of bacteria in concrete: a critical evaluation of the current status. *RILEM Technical Letters*, 1(1), 56-61. <http://hdl.handle.net/1854/LU-8670854>
- Dudi, L., & Bishnoi, S. (2024). Assessment of carbonation and corrosion in a 50-year-old reinforced concrete building. *Materials and Structures*, 57(9), 203. <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02487-8>
- El-Hassan, H. (2013). *Static and dynamic carbonation of lightweight concrete masonry units*. [Thesis of therequirements of the degree of Doctor of Philosophy in Engineering, McGill University]. <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/nc580r22m>
- Farzampour, A. (2019). *Compressive Behavior of Concrete under Environmental Effects*. Chapter metrics overview. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85675>
- García, J. E. (2014). *Diseño de estructuras de concreto armado. Tomo I (Vol. 1)*. Editorial Macro.
- Ghahari, S. A., Ramezani pour, A. M., Ramezani pour, A. A., & Esmaeili, M. (2016). An accelerated test method of simultaneous carbonation and chloride ion ingress: durability of silica fume concrete in severe environments. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016(1), 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/1650979>
- Giráldez, L., Silva, Y., Flores-Rojas, J. L., & Transmonte, G. (2022). Diagnosis of the Extreme Climate Events of Temperature and Precipitation in Metropolitan Lima during 1965–2013. *Climate*, 10(8), 105-112. <https://doi.org/10.3390/cli10080112>
- Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación*. Efaind. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Harmesen, T. E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Fondo editorial PUCP. https://www.google.com.pe/books/edition/Dise%C3%B1o_de_Estructuras_de_Concreto_Armad/Gr3Ga9__NB4C?hl=es&gbpv=1&dq=resistencia+a+compresi%C3%B3n+del+concreto&pg=PA23&printsec=frontcover
- Hasan, M., Fonna, S., Saidi, T., Hasibuan, P., Bukhary, F., Dawood, R., & Mubarak, A. (2025). Carbonation Depth, Corrosion Assessment, Repairing, and Strengthening of 49-Year-

- Old Marine Reinforced Concrete Structures. *Buildings*, 15(22), 1-10.
<https://doi.org/10.3390/edificios15224088>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta · Parte 1. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGrawHill Education. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Ho, D. W., & Harrison, R. S. (1990). Influence of surface coatings on carbonation of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2(1), 35-44.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1990\)2:1\(35\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1990)2:1(35))
- Hossain, M. A., Chowdhury, S. R., & Anik, M. F. (2024). Study on carbonation of low strength concrete made of brick aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 20(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03073>
- Hu, J. Y., Zhang, S. S., Chen, E., & Li, W. G. (2022). A review on corrosion detection and protection of existing reinforced concrete (RC) structures. *Construction and Building Materials*, 325(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126718>
- Hussain, S., Bhunia, D., Singh, S. B., & Yadav, J. S. (2022). A study on the carbonation of binary and ternary blended cement mortar and concrete. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 7(1), 46-60. <https://doi.org/10.1080/24705314.2021.1971892>
- Idvia. (14 de julio de 2023). *Detección de carbonatación para prevenir el colapso de un puente*. Idvia: <https://www.idvia.es/deteccion-de-carbonatacion-para-prevenir-el-colapso-de-un-puente/>
- IMCYC. (2012). La carbonatación en el concreto reforzado. *Ingeniería*, 1(1), 20-23.
- INACAL. (07 de diciembre de 2020). NTP 339.181 CONCRETO. Determinación del número de rebote del concreto endurecido. Método de ensayo. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INEI. (2018). *Cajamarca: Resultados definitivos Tomo XV*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1558/06TOMO_15.pdf
- IPEN. (2017). *Factores para que se presente carbonatación*. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). <http://www.ipen.gob.pe/index.php/capacitaciones/cursos>. 2017. www.ipen.gob.pe
- Iraola, A. M., Daquinta de la Cruz, A., & Rodríguez, L. (2023). Solución a las patologías por carbonatación en los bloques habitacionales del "Hotel Colonial Cayo Coco".

- Universidad & Ciencia*, 12(1), 174-183.
<https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/2496>
- Jin, M., Gao, S., Jiang, L., Chu, H., Lu, M., & Zhi, F. F. (2018). Degradation of concrete with addition of mineral admixture due to free chloride ion penetration under the effect of carbonation. *Corrosion Science*, 138(1), 42-53.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.04.004>
- Kaliyavaradhan, S. K., & Ling, T. C. (2017). Potential of CO₂ sequestration through construction and demolition (C&D) waste—An overview. *Journal of CO₂ Utilization*, 20(1), 234-242. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.05.014>
- Lau, K., Permeh, S., Faridmarandi, S., Ghahfarokhi, M., & Azizinamini, A. (2024). Carbonation-Induced Corrosion Assessment for Reinforced Concrete Structures. *CONFERENCE 2024. Association for Materials Protection and Performance*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.5006/C2024-21169>
- Li, G., Dong, L., Lei, M., & Du, J. (2017). Predicting carbonation depth for concrete with organic film coatings combined with ageing effects. *Construction and Building Materials*, 142(1), 59-65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.063>
- Liisma, E., Sein, S., & Järvpõld, M. (2017). The influence of carbonation process on concrete bridges and durability in Estonian practice. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 251(1), 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012072>
- Linares-Alemparte, P., Andrade, C., & Baza, D. (2019). Porosity and electrical resistivity-based empirical calculation of the oxygen diffusion coefficient in concrete. *Construction and Building Materials*, 198(1), 710-717.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.269>
- López, R., Pérez, J. T., Torres, A. A., Martínez, M., Martínez, W., Ariza, L. E., . . . Valdez, B. (2006). *Durabilidad de la infraestructura de concreto reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México.
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt292.pdf>
- Ly, Y., Niu, D., Liu, X., & Li, Y. C. (2022). Corrosion Damage and Life Prediction of Concrete Structure in a 41-Year-Old Steelworks. *Materials*, 15(17), 1-15.
<https://doi.org/10.3390/ma15175893>
- Martínez, A., & Campos, W. (2015). Correlación entre Actividades de Interacción Social Registradas con Nuevas Tecnologías y el grado de Aislamiento Social en los Adultos Mayores. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 36(3), 1-11.
<https://doi.org/10.17488/RMIB.36.3.4>

- Martínez, J. G. (2018). *Pruebas no destructivas y semi-destructivas para la verificación de la resistencia a la compresión del concreto en el lugar*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/16059/>
- Monteiro, I., Branco, F. A., de Brito, J., & Neves, R. (2012). Statistical analysis of the carbonation coefficient in open air concrete structures. *Construction and Building Materials*, 29(1), 263-269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.028>
- Mors, R., & Jonkers, H. M. (2019). Bacteria-based self-healing concrete: evaluation of full scale demonstrator projects. *RILEM Technical Letters*, 4(1), 138-144. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2019.93>
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano PDU Chota 2017-2027*. Chota: Municipalidad Provincial de Chota.
- Müggenburg, M. C., & Pérez, I. (2007). ipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. *Enfermería universitaria*, 4(1), 35-38.
- MVCS. (2009). Reglamento Nacional de Edificaciones. En Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento,, *Norma E.060 Concreto Armado* (págs. 1-201). Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2009_E_060.pdf
- Oliveira, R. L., Braganca, M. O., & Medeiros-Junior, R. A. (2022). Effect of coarse aggregate size on corrosion of reinforced concrete exposed to carbonation and chloride ingress by electrochemical measurements. *Construction and Building Materials*, 361(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129665>
- Palma, R. (2023). Bioclimatic criteria and life quality in high Andean rural housing in Cajamarca–Peru 2022. *International Conference on Innovations in Energy Engineering & Cleaner Production IEECP23*, 1(1), 1-6. https://ieecp-conference.org/Proceedings_IEECP23/IEECP%20-%20Article%20-305%20%28Doris%20Esenarro%20et%20al.%29.pdf
- Parameswaran, L., Kumar, R., & Sahu, G. K. (2008). Effect of carbonation on concrete bridge service life. *Journal of bridge engineering*, 13(1), 75-82. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2008\)13:1\(75\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2008)13:1(75))
- Paredes, J., Prieto, J., & Santos, E. (2013). Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 1(1), 1-6. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24384>

- Park, D. C. (2008). Carbonation of concrete in relation to CO₂ permeability and degradation of coatings. *Construction and building Materials*, 22(11), 2260-2268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.032>
- Parrott, L. J., & Killoh, D. C. (1989). Carbonation in a 36 year old, in-situ concrete. *Cement and concrete research*, 19(4), 649-656. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(89\)90017-3](https://doi.org/10.1016/0008-8846(89)90017-3)
- Paul, S. C., Panda, B., Huang, Y., Garg, A., & Peng, X. (2018). An empirical model design for evaluation and estimation of carbonation depth in concrete. *Measurement*, 124(1), 205-210. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.033>
- Pérez, J. L., Godínez, E. A., Mundo, M. D., & Hernández, D. (2020). Inspección por corrosión y estructural de un elemento de concreto reforzado interno, que atraviesa el embovedado de San Roque en el cadenamiento 0+145, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Innovación más Desarrollo*, 9(22), 151-171. <https://doi.org/10.31644/IMASD.22.2020.a08>
- Ramos-Galarza, C. A. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1-6. <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Rao, N. V., & Meena, T. (2017). A review on carbonation study in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032011>
- Refulio, R. G. (2023). *Efecto del intemperismo estacional local en las propiedades mecánicas y ciclo de vida de mezclas densas en la ciudad de Huancayo 2022*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13529/5/IV_FIN_105_T_E_Refulio_Casta%C3%B1eda_2023.pdf
- Rengifo, Y. (2022). Sistema meteorológico: temperatura y humedad relativa y concentración de Co₂. *Revista Bioetnia*, 19(1), 1-11. <https://doi.org/10.51641/bioetnia.v19i1.268>
- Revert, A. B., De Weerd, K., Hornbostel, K., & Geiker, M. R. (2018). Carbonation-induced corrosion: Investigation of the corrosion onset. *Construction and Building Materials*, 162(1), 847-856. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.066>
- Rinaldi, Z., Di Carlo, F., Spagnuolo, S., & Meda, A. (2022). Influence of localised corrosion on the cyclic response of reinforced concrete columns. *Engineering Structures*, 256(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114037>
- Rojas, J. M. (2022). *Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de ph de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad Quillabamba-Cusco 2021*. [Tesis de grado para optar el título profesional]

- de Ingeniero Civil, Universidad Andina del Cusco].
<https://hdl.handle.net/20.500.12557/5001>
- Roy, S. K., Poh, K. B., & Northwood, D. O. (1999). Durability of concrete—accelerated carbonation and weathering studies. *Building and environment*, 34(5), 597-606.
[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00042-0)
- Rumi, L., Montero, M., & Iloro, H. (2017). Absorción de CO₂ por carbonatación durante el ciclo de vida de puentes de hormigón ubicados en la provincia de Buenos Aires. *PROIMCA*, 1(1), 1-10.
- Sanjuán, M. A., & del Olmo, C. (2001). Carbonation resistance of one industrial mortar used as a concrete coating. *Building and Environment*, 36(8), 949-953.
[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00045-7)
- Saura, P., Sánchez, J., Torres, J. E., Chinchón-Payá, S., Rebolledo, N., & Galao, Ó. (2023). Carbonation-Induced Corrosion of Reinforced Concrete Elements according to Their Positions in the Buildings. *Corrosion and Materials Degradation*, 4(3), 345-363.
<https://doi.org/10.3390/cmd4030018>
- Saura-Gómez, P., Rizo-Maestre, C., & Echarri-Iribarren, V. (2022). The Useful Life of Reinforced Concrete Structures with Reinforcement Corrosion Due to Carbonation in Non-Aggressive and Normal Exposures in the Spanish Mediterranean. *Materials*, 15(3), 745-750. <https://doi.org/10.3390/ma15030745>
- Seifan, M., Samani, A. K., & Berenjian, A. (2016). Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(1), 2591-2602.
<https://doi.org/10.1007/s00253-016-7316-z>
- SENAMHI. (13 de noviembre de 2023). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI):
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Shen, Y., Wang, Y., Xu, X., & Ruan, F. (2023). Study on carbonation of construction joints through field tests on a 30-year-old bridge and accelerated carbonation tests. *Case Studies in Construction Materials*, 19(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02231>
- Sisomphon, K., & Franke, L. (2007). Carbonation rates of concretes containing high volume of pozzolanic materials. *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1647-1653.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.014>
- Soto, H. A. (mayo de 2021). *Informe técnico para la deteminación de la resistencia a la compresión del concreto, mediante el método del martillo de rebote o esclerómetro*.

- Torres-Torres, R., Benavides Irigoín, L. F., Romero Chuquilín, L. F., & Cieza Sánchez, E. (2024). Productividad y rendimiento de mano de obra en la construcción de vigas y columnas en viviendas de Chota, Cajamarca. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 7(1), 33-42. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2024v7n1p33>
- Ulin, P. R., Robinson, E. T., & Tolley, E. E. (2005). *Investigación aplicada en salud pública: métodos cualitativos*. Organización Panamericana de la Salud.
- Vidaud, E., & Vidaud, I. (2012). La carbonatación en el concreto reforzado. *Construcción y tecnología en concreto*, 1(1), 21-23. <http://www.imcyc.com/revistacyt/diciembre2012/pdfs/ingenieria.pdf>
- Viorato, N. S., & Reyes, V. (2019). La ética en la investigación cualitativa. *CuidArte*, 8(16), 36-46. <http://dx.doi.org/10.22201/fesi.23958979e.2019.8.16.70389>
- Wang, Y., Nanukuttan, S., Bai, Y., & Basheer, M. (2017). Influence of combined carbonation and chloride ingress regimes on rate of ingress and redistribution of chlorides in concretes. *Constr. Build. Mater.*, 140(1), 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.121>
- Watari, T., Cao, Z., Hata, S., & Nansai, K. (2022). Efficient use of cement and concrete to reduce reliance on supply-side technologies for net-zero emissions. *Nature communications*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31806-2>
- Xu, R. (2022). Influence of Extreme Weather and Its Secondary Disasters on Bridges. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 18(1), 148-154. <https://doi.org/10.54097/hset.v18i.2650>
- Zambrano, J. C. (2023). *Patología Colegio Juan Bosco, Tibacuy, Cundinamarca*. [Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad La Gran Colombia]. <http://hdl.handle.net/11396/7765>
- Zhang, D., & Shao, Y. (2016). Effect of early carbonation curing on chloride penetration and weathering carbonation in concrete. *Construction and Building Materials*, 123(1), 516-526. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.041>
- Zhang, D., Liu, T., & Shao, Y. (2020). Weathering carbonation behavior of concrete subject to early-age carbonation curing. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(4), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003087](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003087)

- Zhang, D., Wang, Y., Ma, M., Guo, X., Zhao, S., & Yang, Q. (2022). Effect of equal volume replacement of fine aggregate with fly ash on carbonation resistance of concrete. *Materials*, 15(4), 1-15. <https://doi.org/10.3390/ma15041550>
- Zhang, J., Li, Y., Luo, Y., Yang, Q., & Sheng, Z. (2022). An experimental study of mitigating coastal dune erosion by using bio-carbonization of reactive magnesia cement. *Marine Georesources & Geotechnology*, 1(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2022.2154182>
- Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2018). The effect of the material factors on the concrete resistance against carbonation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(1), 1265-1274. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0988-9>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesista(s): Yony Yover Campos Muñoz, Ronald Robert Campos Muñoz

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cómo se relaciona la carbonatación por intemperización con el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota, y cuál es su efecto en la resistencia a compresión del concreto expuesto?	Objetivo general Analizar la carbonatación por intemperización en relación con el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota. Objetivos específicos – Determinar la tasa y profundidad de carbonatación en las columnas de concreto armado expuestas a la intemperización según espesor de recubrimiento en las viviendas de la ciudad de Chota. – Evaluar el efecto de la carbonatación en la resistencia a compresión del concreto de las columnas en función del espesor de recubrimiento. – Analizar la influencia de las condiciones ambientales exteriores (humedad relativa, temperatura y concentración de dióxido de carbono) en la carbonatación del concreto según el espesor de recubrimiento. – Identificar los factores propios de la edificación (antigüedad, número de pisos y uso) que influyen en la carbonatación de las columnas de acuerdo con el espesor de recubrimiento.	En las viviendas de la ciudad de Chota, la carbonatación por intemperización de las columnas de concreto armado aumenta significativamente cuando disminuye el espesor de recubrimiento.	VI Espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado	Espesor de recubrimiento	2 cm	Enfoque: Cuantitativo Tipo: básica Nivel: Explicativo Diseño: No experimental Población: Todas las viviendas ubicadas en el área urbana de la ciudad de Chota que, estén construidas con concreto armado y tengan columnas expuestas a la intemperización (ubicadas en azoteas sin techar en edificaciones no terminadas). Muestra: Probabilístico de ecuación de población finita, siendo 16 viviendas
					3 cm	
					4 cm	
				Ubicación de la columna	Columna esquinera	
					Columna excéntrica	
					Columna central	
				Características técnicas	Antigüedad	
					Número de pisos	
					Uso de la edificación	
			Ubicación de la columna			
			Altura expuesta a intemperización			
			VD Carbonatación por intemperización	Intemperización	Humedad relativa	
					Temperatura ambiental	
					Dióxido de carbono	
				Carbonatación	Profundidad de carbonatación	
					Tasa de carbonatación	
					Velocidad de carbonatación	
					Indicador de pH	
				Efectos de la carbonatación en las características técnicas del concreto	Resistencia a la compresión	

Anexo 2. Panel fotográfico

Fotografía 1. Realización del ensayo de esclerometría en la columna de la vivienda 1	Fotografía 2. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 1
	
Descripción. Se observa la ejecución del ensayo de esclerometría en la columna aplicando el martillo Schmidt para estimar la resistencia del concreto	Descripción. Se muestra la aplicación de la solución de fenolftaleína en el interior de la perforación, evidenciando el contraste de color para identificar la zona carbonatada en la columna evaluada.
Fotografía 3. Medida de la profundidad de carbonatación con vernier en la columna de la vivienda 1	Fotografía 4 Extracción del polvo del concreto de la columna para el ensayo de pH, vivienda 1
	
Descripción. Se aprecia la medición de la profundidad de carbonatación utilizando un vernier digital, registrando la distancia entre la superficie expuesta y el límite de pérdida de alcalinidad.	Descripción. Se puede observar la extracción del polvo de concreto obtenido de la perforación, empleando una espátula para su posterior análisis de pH en laboratorio

Fotografía 5. Columna de la vivienda 1, luego del análisis de carbonatación	Fotografía 6. Proceso de cubierta de las perforaciones realizadas con broca luego de los ensayos, en la columna de la vivienda 1
	
Descripción. Se muestra la columna luego del análisis de carbonatación, con las perforaciones visibles y los puntos teñidos por la reacción con fenolftaleína.	Descripción. Se aprecia el proceso de sellado de las perforaciones realizadas para los ensayos, utilizando mortero para restituir la continuidad superficial de la columna.
Fotografía 7. Medición del ancho de la columna para ser analizada, vivienda 2	Fotografía 8. Vista de los 3 puntos de análisis en la columna, vivienda 2
 Latitud: -6.557665 Longitud: -78.640591 Elevación: 2459.4244 38 m Precisión: 6.808 m Tiempo: 05-20-2023 10:28 Powered by NoteCam	 Latitud: -6.557664 Longitud: -78.640593 Elevación: 2459.4245 55 m Precisión: 5.717 m Tiempo: 05-20-2023 10:27 Powered by NoteCam
Descripción. Se observa la medición del ancho de la columna utilizando una cinta métrica para registrar las dimensiones previas al análisis de carbonatación.	Descripción. Se evidencia la ubicación de los tres puntos de muestreo seleccionados en la columna, donde se realizaron los perforados para el análisis de carbonatación.

Fotografía 9. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 2	Fotografía 10. Medida de la profundidad de carbonatación con vernier en la columna de la vivienda 2
	
Descripción. Se muestra la verificación de la zona no carbonatada mediante la reacción de la fenolftaleína, registrando el límite de coloración con el vernier.	Descripción. Se aprecia la medición directa de la profundidad de carbonatación con un vernier digital sobre la superficie perforada de la columna.
Fotografía 11 Medición de la columna para realizar la perforación, en la vivienda 3	Fotografía 12. Medida de la profundidad de carbonatación en la columna de la vivienda 3
	
Descripción. Se observa la medición inicial en la superficie de la columna para ubicar con precisión el punto donde se realizará la perforación.	Descripción. Se muestra la medición de la profundidad de carbonatación utilizando un vernier digital.
Fotografía 13. Extracción del polvo del concreto de la columna para el ensayo de pH, vivienda 3	Fotografía 14. Toma de datos de intemperización (CO2, temperatura y humedad) en la vivienda 3
	
Descripción. Se aprecia la extracción del polvo de concreto mediante una espátula, material que será utilizado posteriormente en el ensayo de pH.	Descripción. Toma de datos ambientales utilizando un medidor portátil, registrándose CO2,

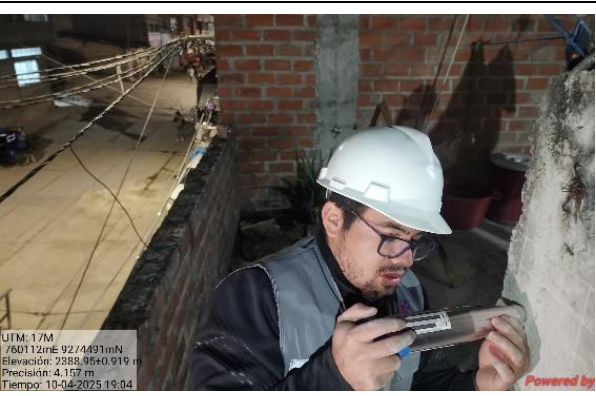
	temperatura y humedad en el entorno de la columna evaluada.
Fotografía 15. Medición de la profundidad de perforación para el análisis de esclerometría vivienda 4	Fotografía 16. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 4
	
Descripción. Se registra la medición de la profundidad inicial en la columna para determinar el punto exacto donde se realiza la perforación destinada al ensayo de esclerometría.	Descripción. Se aplica la solución de fenolftaleína en la perforación, permitiendo distinguir el límite de carbonatación mediante la tonalidad obtenida en el concreto.
Fotografía 17. Probeta extraída con broca para el ensayo con fenolftaleína, vivienda 4	Fotografía 18. Toma de datos de intemperización (CO ₂ , temperatura y humedad) en la vivienda 4
	
Descripción. Se mide la probeta extraída con broca utilizando un vernier digital, registrando su longitud para el análisis de carbonatación y verificación del frente reactivo.	Descripción. Se efectúa la toma de datos ambientales de intemperización mediante un medidor portátil que registra CO ₂ , temperatura y humedad en el entorno de la columna.

Fotografía 19. Vista de los 3 puntos de análisis en la columna, vivienda 4	Fotografía 20. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 5
	
Descripción. Se aprecia la columna con los tres puntos de perforación empleados para el análisis de carbonatación, distribuidos verticalmente para evaluar la variación del proceso.	Descripción. Se aplica la solución de fenolftaleína en la perforación, permitiendo distinguir el límite de carbonatación mediante la coloración obtenida en el concreto.
Fotografía 21. Probeta extraída con broca para el ensayo con fenolftaleína, vivienda 5	Fotografía 22. Columna de la vivienda 5, luego del análisis de carbonatación
	
Descripción. Se dispone la probeta extraída con broca sobre la superficie de trabajo para su análisis, observándose la zona reactiva teñida por la fenolftaleína.	Descripción. Se visualiza la columna luego del procedimiento de carbonatación, apreciándose los puntos perforados utilizados para el ensayo.

Fotografía 23. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 5	Fotografía 24. Proceso de cubierta de las perforaciones realizadas con broca luego de los ensayos, en la columna de la vivienda 5
	
Descripción. Se registran los parámetros ambientales de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) mediante el uso del medidor portátil ubicado en el área de trabajo.	Descripción. Se realiza el proceso de recubrimiento de las perforaciones mediante la aplicación de mortero, restituyendo la superficie intervenida de la columna.
Fotografía 25. Probeta extraída con broca para el ensayo con fenolftaleína, vivienda 6	Fotografía 26 Columna de la vivienda 6, luego del análisis de carbonatación
	
Descripción. Se dispone la probeta extraída con broca sobre la superficie de trabajo, verificándose su longitud mediante un vernier digital para el análisis de carbonatación con fenolftaleína.	Descripción. Se distingue la columna intervenida luego del análisis de carbonatación, mostrando la perforación realizada para la aplicación de fenolftaleína.

Fotografía 27. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 6	Fotografía 28. Realización del ensayo de esclerometría en la columna de la vivienda 7
 UTM: 17M 759534mE 9274430mN Altitud: 2380.5-4.44 m Precisión: 24.52 m Tiempo: 06/02/2023 07:48	
Descripción. Se registran los datos ambientales de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) utilizando el medidor portátil.	Descripción. Realización de esclerometría aplicando el martillo Schmidt sobre la superficie de la columna para determinar la calidad del concreto
Fotografía 29. Extracción del polvo del concreto de la columna para el ensayo de pH, vivienda 7	Fotografía 30. Medición para la perforación de la columna
	
Descripción. Se observa la extracción del polvo de concreto desde la perforación realizada en la columna.	Se distingue la medición en la superficie de la columna para ubicar el punto de perforación.
Fotografía 31. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 7	Fotografía 32. Probeta extraída con broca para el ensayo con fenolftaleína, vivienda 7
	
Descripción. Se identifica la perforación teñida con fenolftaleína, evidenciando el límite de carbonatación.	Descripción. Se muestra la probeta extraída con broca, medida con un vernier digital.

Fotografía 33. Columna de la vivienda 7, luego del análisis de carbonatación	Fotografía 34. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 7
	
Descripción. Columna con las perforaciones utilizadas para el análisis de carbonatación.	Descripción. Toma de datos ambientales mediante el medidor portátil ubicado junto a la columna.
Fotografía 35. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 8	Fotografía 36. Vista de los 3 puntos de análisis en la columna, vivienda 8
	
Descripción. Se observa la perforación de la columna con la zona reactiva teñida por la aplicación de fenolftaleína.	Descripción. Se aprecia la columna con los tres puntos alineados utilizados para el análisis de carbonatación.
Fotografía 37. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 8	Fotografía 38. Vista de los 3 puntos de análisis en la columna, vivienda 9
	
Descripción. Se visualiza la toma de datos ambientales de intemperización mediante el equipo portátil ubicado junto a la columna evaluada.	Descripción. Se observa la columna con los tres puntos de perforación distribuidos verticalmente para el análisis de carbonatación.

Fotografía 39. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 10	Fotografía 40. Medición para la perforación de la columna en la vivienda 10
	
Descripción. Vista de la intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en el medidor portátil utilizado en la vivienda 10	Descripción. Se observa la medición en la superficie de la columna para definir el punto donde se realizará la perforación.
Fotografía 41. Realización del ensayo de esclerometría en la columna de la vivienda 11	Fotografía 42. Columna de la vivienda, luego del análisis de carbonatación, vivienda 11
	
Descripción. Se aprecia la perforación de esclerometría utilizando el martillo Schmidt sobre la columna de la vivienda.	Descripción. Se visualiza la columna con las perforaciones realizadas para el análisis de carbonatación.
Fotografía 43. Columna de la vivienda, luego del análisis de carbonatación, vivienda 12	Fotografía 44. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 12
	
Descripción. Se logra ver la columna intervenida con las perforaciones visibles luego del análisis de carbonatación realizado en la vivienda	Descripción. Se observa la lectura de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) obtenida con el medidor portátil en la vivienda

Fotografía 45. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 13	Fotografía 46. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 13
	
Descripción. Se registra la lectura de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) mediante el medidor portátil ubicado en la vivienda 13.	Descripción. Se identifica la perforación aplicada con fenolftaleína, mostrando la zona reactiva correspondiente al análisis de carbonatación.
Fotografía 47. Vista de la columna seleccionada para el análisis de esclerometría, vivienda 14	Fotografía 48. Análisis de carbonatación con fenolftaleína en la columna de la vivienda 14
	
Descripción. Se aprecia la columna seleccionada para el análisis de esclerometría en la vivienda 14.	Descripción. Se identifica la perforación tratada con fenolftaleína, mostrando la zona reactiva correspondiente al análisis de carbonatación.
Fotografía 49. Vista de la corrosión del acero dentro de la columna en la vivienda 14	Fotografía 50. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 14
	
Descripción. Se evidencia la presencia de corrosión en la barra de acero expuesta dentro de la columna, mientras se realiza la medición del recubrimiento.	Descripción. Se registra la lectura de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) mediante el medidor portátil.

Fotografía 51. Vista de los 2 puntos de análisis en la columna, vivienda 15	Fotografía 52. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 15
	
Descripción. Se observa la columna con dos puntos de perforación utilizados para el análisis de carbonatación en la vivienda 15.	Descripción. Se registra la lectura de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) mediante el medidor portátil colocado junto a la columna evaluada.
Fotografía 53. Proceso de cubierta de las perforaciones realizadas con broca luego de los ensayos, en la columna de la vivienda 15.	Fotografía 54. Selección y lijado de la columna para el posterior análisis, vivienda 16
	
Descripción. Se ve el proceso de cubierta de las perforaciones realizadas con broca luego de los ensayos en la columna.	Descripción. Se aprecia la selección y lijado de la columna para su preparación antes del análisis.

Fotografía 55. Medición para la perforación de la Columna en la vivienda 16	Fotografía 56. Realización del ensayo de esclerometría en la columna de la vivienda 16
	
Descripción. Se observa la medición en la superficie de la columna para definir el punto donde se realizará la perforación.	Descripción. Se visualiza la perforación de esclerometría sobre la columna de la vivienda 16.
Fotografía 57. Toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) en la vivienda 16	Fotografía 58. Ensayo de pH en la muestra de concreto tomada de la columna de las viviendas en el laboratorio de la EPIFA - UNACH
 UTM: 17M 760605mE 9274289mN Altitud: 2463.8±2.8 m Precisión: 3.75 m Tiempo: 10.05.2025 17:29	
Descripción. Se detalla la toma de datos de intemperización (CO₂, temperatura y humedad) mediante el medidor portátil colocado junto a la columna evaluada.	Descripción. Se registra la lectura del ensayo de pH realizado a la muestra de concreto en el laboratorio de la EPIFA-UNACH.

**Anexo 3. Inspección de viviendas con las características idóneas para el estudio en la
ciudad de Chota**



"Año de la Unidad, La Paz y El Desarrollo"
Municipalidad Provincial de Chota
Sub Gerencia de Planeamiento Catastro y Control
Urbano (SGPCyCU)

**INFORME TÉCNICO N° 1/2023 – SGPCyCU- YYCM-RRCM
INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES CON COLUMNAS NO TECHADAS
EXPUESTAS A INTemperISMO EN EL JR JUAN CAMPOS 2023**

Chota, martes 31 de octubre de 2023

I. GENERALIDADES

Informe solicitado por: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Robert Campos Muñoz
Tesis: "Análisis de la carbonatación por intemperización
según espesor de recubrimiento de las columnas de
concreto armado en las viviendas de la ciudad de
Chota"
Referencia: Carta N° 007-2023-LFRCH-VJE-FCI/UNACH

II. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Chota ha crecido en configuración radial y presenta 10 sectores, con características y tendencias que generan la ocupación del suelo con diferentes niveles de consolidación y/o especialización como residencial, mixto o comercial y recreacional, con un patrón heterogéneo de asentamiento que se traduce en calles sinuosas y edificaciones, cuyo material predominante es el ladrillo (85%), además edificaciones no acorde al espacio que en algunos casos sobrepasan los 10 Niveles (pisos) por 100 m².

Muchas de las viviendas en la ciudad de Chota no han concluido su construcción, es decir en sus azoteas se puede observar la continuidad del acero, con la finalidad de que, amplíen sus viviendas en un futuro, no obstante, de estas, las viviendas no techadas son escasas. Sin embargo, a solicitud de los tesisistas Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz, alumnos de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, quienes argumentan requerir esta información para la realización de la investigación "Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota", y en aras de contribuir con el desarrollo académico de nuestra localidad, se ha realizado conjuntamente con los tesisistas la inspección visual de las viviendas en el Jr. Juan Campos.

III. ANTECEDENTES

El 15 de octubre del 2023, los tesisistas Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz, alumnos de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, en coordinación con su asesor Mg. Ing. Dante Hartman Cieza León, presentaron una solicitud a la Municipalidad Provincial de Chota, acompañada de la carta N° 007-2023-LFRCH-VJE-FCI/UNACH, que ratifica su petición para realizar una inspección visual de las viviendas que, cumplieran ciertas características específicas para su estudio.

ING. CARLOS ÁNGEL BUSTAMANTE BUSTAMANTE

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHOTA
Ing. Carlos Ángel Bustamante Bustamante
CAJISTA DE LA SGPCyCU



"Año de la Unidad, La Paz y El Desarrollo"

Municipalidad Provincial de Chota
Sub Gerencia de Planeamiento Catastro y Control
Urbano (SGPCyCU)

El 25 de octubre del 2023, la solicitud de los tesisistas antes mencionados fue aprobada por lo que, se procedió a coordinar con los mismos para elegir una calle de estudio, considerando que, el análisis de toda la ciudad es un trabajo complejo que requeriría varios meses, y que a pesar del ánimo de la Municipalidad Provincial de Chota, por apoyar al desarrollo de su investigación es un trabajo para el que, no se puede disponer personal, siendo así, se eligió una única calle para el análisis, a fin de que, sirva de análisis muestral.

IV. OBJETIVO

General:

El área de catastro de la municipalidad provincial de Chota tiene por objeto detectar las características de los bienes inmuebles ubicados en el territorio del municipio de la provincia de Chota, conocer quiénes son los propietarios de dichos bienes y registrar su situación jurídica-económica para fines tanto legales como impositivos, también Llevar a cabo inspecciones y evaluaciones de los predios que conforman el Catastro Municipal, para mantener actualizados los archivos cartográficos, el padrón de contribuyentes

Específico:

Verificar a partir de la inspección de campo la cantidad de edificaciones que estén construidas con concreto armado y tengan columnas expuestas a la intemperización (ubicadas en azoteas sin techar o en edificaciones no terminadas) con recubrimiento de 1-2 cm, 3-4 cm y 5-6 cm, pero que tengan al menos 1 año de antigüedad, ubicadas dentro del Jr. Juan Campos de la ciudad de Chota.

V. FECHA DE REALIZACIÓN

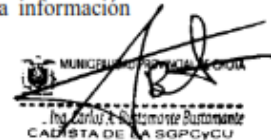
La inspección se ha llevado a cabo el día martes 31 de octubre del año 2023 en todas aquellas viviendas del Jr. Juan Campos de la ciudad de Chota. Se realizó de forma externa y solamente en aquellas viviendas que cumplieren las características necesarias para el estudio se entrevistó al propietario.

VI. JUSTIFICACIÓN

La justificación para realizar un informe técnico de la inspección visual externa de edificaciones con columnas no techadas expuestas a intemperismo en el Jr. Juan Campos, a solicitud de dos tesisistas de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, se basa en los siguientes puntos:

1. Importancia para las investigaciones: Los tesisistas requieren los datos de esta inspección visual externa para llevar a cabo su tesis. Esto implica que el informe técnico será utilizado como base para su investigación, lo cual es un motivo válido para llevar a cabo el estudio.
2. Generación de conocimiento: Al realizar este informe técnico, se estarán recopilando datos y evaluando el estado de las edificaciones con columnas no techadas expuestas a intemperismo en el Jr. Juan Campos. Esta información

ING. CARLOS ÁNGEL BUSTAMANTE BUSTAMANTE


MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHOTA
Ing. Carlos A. Bustamante Bustamante
CADISTA DE LA SGPCyCU



“Año de la Unidad, La Paz y El Desarrollo”
Municipalidad Provincial de Chota
Sub Gerencia de Planeamiento Catastro y Control
Urbano (SGPCyCU)

contribuirá a generar conocimiento sobre la vulnerabilidad estructural de estas construcciones frente a las condiciones climáticas adversas, así como a identificar posibles mejoras y soluciones.

3. Beneficios para la comunidad: La realización de este informe técnico no solo beneficiará a los tesisistas y a la universidad, sino también a la comunidad en general. Al obtener información precisa sobre el estado de estas edificaciones, se podrán tomar medidas de prevención y mantenimiento adecuadas, lo que contribuirá a garantizar la seguridad de las personas que habitan o transitan por estas zonas.

4. Cumplimiento de requisitos académicos: Los tesisistas requieren los datos de esta inspección visual externa como parte de los requisitos establecidos por la Universidad Nacional Autónoma de Chota para la ejecución de su tesis. Cumplir con estos requisitos es fundamental para obtener el grado académico correspondiente y avanzar en su formación profesional.

VII. PROCEDIMIENTO

El procedimiento para realizar la inspección visual externa de edificaciones con columnas no techadas expuestas a intemperismo en el Jr. Juan Campos puede incluir los siguientes pasos:

1. Recopilación de información: Antes de realizar la inspección, es importante recopilar toda la información relevante sobre las edificaciones y su entorno. Esto incluye el plano catastral de Chota, registros de construcción, antecedentes de mantenimiento, informes de inspecciones anteriores, entre otros.

2. Preparación del equipo y herramientas: Es importante contar con el equipo y las herramientas necesarias para llevar a cabo la inspección. Esto puede incluir cámaras fotográficas, cinta métrica, binoculares, entre otros.

3. Identificación de riesgos: Antes de comenzar la inspección, es importante identificar y evaluar los posibles riesgos y peligros presentes en el lugar. Esto puede incluir la presencia de elementos inestables, cables eléctricos expuestos, superficies resbaladizas, entre otros. Se deben tomar las precauciones necesarias para garantizar la seguridad durante la inspección.

4. Inspección visual externa: Se realiza una inspección visual exhaustiva de las edificaciones con columnas no techadas expuestas a intemperismo. Se evalúa el estado general de las columnas, los materiales utilizados, las posibles fisuras, corrosión u otros daños visibles. Se documentan todas las observaciones a través de fotografías, videos y escritos detallados. Además, en aquellas viviendas que, cumplan con las características solicitadas por los tesisistas, se ha entrevistado a los propietarios de la edificación, para conocer su viabilidad para que su vivienda forme parte de un estudio científico.

ING. CARLOS ÁNGEL BUSTAMANTE BUSTAMANTE

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHOTA
Ing. Carlos Ángel Bustamante Bustamante
CADISTA DE LA SGPCyCU



“Año de la Unidad, La Paz y El Desarrollo”
Municipalidad Provincial de Chota
Sub Gerencia de Planeamiento Catastro y Control
Urbano (SGPCyCU)

5. Análisis y evaluación de los resultados: Una vez realizada la inspección visual, se analizan los resultados obtenidos y se evalúa el estado de las edificaciones. Se pueden utilizar criterios y normativas de construcción para determinar la gravedad de los daños y establecer recomendaciones.

6. Elaboración del informe técnico: Con base en los resultados de la inspección visual, se elabora un informe técnico detallado que incluya los datos recopilados, las observaciones realizadas, la evaluación de los daños, las recomendaciones de mantenimiento o reparación, y cualquier otra información relevante. El informe debe ser claro, preciso y estar respaldado por los hallazgos de la inspección.

VIII. HALLAZGOS

En el Jr. Juan Campos hay 173 viviendas, pero solamente una única vivienda ubicada en el Jr. Juan Campos 463 perteneciente a la Familia Estela Rojas cumple con las condiciones solicitadas para el estudio, es decir es una vivienda de concreto armado con columnas expuestas a la intemperización (ubicadas en azoteas sin techar o en edificaciones no terminadas) con recubrimiento de 1-2 cm, 3-4 cm y 5-6 cm, pero con al menos 1 año de antigüedad.

IX. ANEXOS

Panel fotográfico.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHOTA
Ing. Carlos Ángel Bustamante Bustamante
CAPISTA DE LA SGPCyCU

ING. CARLOS ÁNGEL BUSTAMANTE BUSTAMANTE



“Año de la Unidad, La Paz y El Desarrollo”
Municipalidad Provincial de Chota
Sub Gerencia de Planeamiento Catastro y Control
Urbano (SGPCyCU)



Vista de la única vivienda en el Jr. Juan Campos que cumple con las condiciones para la participación en el análisis

ING. CARLOS ÁNGEL BUSTAMANTE BUSTAMANTE



“Año de la Unidad, La Paz y El Desarrollo”
Municipalidad Provincial de Chota
Sub Gerencia de Planeamiento Catastro y Control
Urbano (SGPCyCU)

Panel fotográfico



Vista de las viviendas en el Jr. Juan Campos



Vista de las viviendas en el Jr. Juan Campos

ING. CARLOS ÁNGEL BUSTAMANTE BUSTAMANTE

Anexo 4. Cuestionario a los propietarios de las viviendas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CARTA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Experto validador	Elizabeth Gaitán Paredes
Profesión	Ingeniero Civil
Grado	Magister en Gerencia e Ingeniería de la Construcción
Fecha de validación	15 de septiembre de 2025

Por medio de la presente, se deja constancia de que se revisaron los instrumentos de recolección de datos correspondientes a la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN POR INTEMPERIZACIÓN SEGÚN ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE LAS COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CHOTA”**, elaborada por Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz. La revisión consideró la claridad, pertinencia, coherencia, suficiencia y correspondencia de cada instrumento con los objetivos, variables, dimensiones e indicadores del estudio.

Como resultado de la evaluación, los siguientes instrumentos se consideran técnicamente adecuados y aplicables para la recolección de la información requerida en la investigación:

N.º	Instrumento	Resultado
1	Cuestionario a los propietarios de las viviendas	VALIDADO
2	Formato de ensayos de carbonatación	VALIDADO
3	Formato de ensayos de esclerometría	VALIDADO
4	Formato de ensayo de pH del concreto	VALIDADO

En consecuencia, se emite opinión favorable respecto de la validez de contenido y aplicabilidad de los instrumentos señalados, pudiendo ser utilizados en la ejecución del trabajo de campo y de los ensayos previstos en la investigación.

Chota, 15 de septiembre de 2025.



ELIZABETH GAITÁN PAREDES
Ingeniera Civil
Reg. CIP N° 293607

Elizabeth Gaitán Paredes
INGENIERO CIVIL

Firma y sello del experto validador

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**CARTA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE
DATOS**

Experto validador	Carlos Angel Bustamante Bustamante
Profesión	Ingeniero Civil
Grado	Magíster en ingeniería
Fecha de validación	15 de septiembre de 2025

Por medio de la presente, se deja constancia de que se revisaron los instrumentos de recolección de datos correspondientes a la tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN POR INTEMPERIZACIÓN SEGÚN ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE LAS COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CHOTA”**, elaborada por Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz. La revisión consideró la claridad, pertinencia, coherencia, suficiencia y correspondencia de cada instrumento con los objetivos, variables, dimensiones e indicadores del estudio.

Como resultado de la evaluación, los siguientes instrumentos se consideran técnicamente adecuados y aplicables para la recolección de la información requerida en la investigación:

N.º	Instrumento	Resultado
1	Cuestionario a los propietarios de las viviendas	VALIDADO
2	Formato de ensayos de carbonatación	VALIDADO
3	Formato de ensayos de esclerometría	VALIDADO
4	Formato de ensayo de pH del concreto	VALIDADO

En consecuencia, se emite opinión favorable respecto de la validez de contenido y aplicabilidad de los instrumentos señalados, pudiendo ser utilizados en la ejecución del trabajo de campo y de los ensayos previstos en la investigación.

Chota, 15 de septiembre de 2025.


Carlos Angel Bustamante Bustamante
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 281605

Carlos Angel Bustamante Bustamante
INGENIERO CIVIL
Firma y sello del experto validador

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CARTA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Experto validador	Joselito Burga Díaz
Profesión	Ingeniero Civil
Grado	Magister en Gerencia e Ingeniería de la Construcción
Fecha de validación	15 de septiembre de 2025

Por medio de la presente, se deja constancia de que se revisaron los instrumentos de recolección de datos correspondientes a la tesis titulada **"ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN POR INTEMPERIZACIÓN SEGÚN ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE LAS COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO EN LAS VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE CHOTA"**, elaborada por Yony Yover Campos Muñoz y Ronald Roberth Campos Muñoz. La revisión consideró la claridad, pertinencia, coherencia, suficiencia y correspondencia de cada instrumento con los objetivos, variables, dimensiones e indicadores del estudio.

Como resultado de la evaluación, los siguientes instrumentos se consideran técnicamente adecuados y aplicables para la recolección de la información requerida en la investigación:

N.º	Instrumento	Resultado
1	Cuestionario a los propietarios de las viviendas	VALIDADO
2	Formato de ensayos de carbonatación	VALIDADO
3	Formato de ensayos de esclerometría	VALIDADO
4	Formato de ensayo de pH del concreto	VALIDADO

En consecuencia, se emite opinión favorable respecto de la validez de contenido y aplicabilidad de los instrumentos señalados, pudiendo ser utilizados en la ejecución del trabajo de campo y de los ensayos previstos en la investigación.

Chota, 15 de septiembre de 2025.



JOSELITO BURGA DÍAZ
Ingeniero Civil
Reg.CIP. N° 321522

Joselito Burga Díaz
INGENIERO CIVIL

Firma y sello del experto validador

Anexo 5. Cuestionario a los propietarios de las viviendas



Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

CUESTIONARIO DE CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA VIVIENDA

Autor(es): Yony Yover Campos Muñoz, Ronald Roberth Campos Muñoz

- 1) ¿Cuál es la dirección de su vivienda?
- 2) ¿Usted compró la vivienda construida o la construyó?
- 3) ¿Cuál es el uso de la edificación?
- 4) ¿Cuál es la antigüedad de la edificación?
- 5) ¿Número de niveles que construyó inicialmente?
- 6) ¿Ha ampliado su edificación, es decir ha construido más pisos de los que tenía inicialmente?
- 7) Si la respuesta anterior es sí, ¿En qué año realizó la ampliación de la edificación?
- 8) ¿Cómo calificaría el estado de su edificación?
- 9) ¿Tiene columnas expuestas a la intemperie? (se le dará más detalle del significado de la pregunta)
- 10) ¿Cuál es el espesor de recubrimiento de las columnas de concreto en su vivienda?
- 11) ¿Cuál fue la resistencia esperada del concreto en las columnas?
- 12) ¿Cuáles son las medidas de protección o mantenimiento que se han tomado para evitar la carbonatación en las columnas de concreto?

Anexo 6. Registro de parámetros ambientales

Fecha	N° Vivieda	N° de análisis	Horario de análisis	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Dióxido de carbono CO2 (ppm)
20/09/2025	1	1	13:52	24	55	437
20/09/2025	2	1	18:28	20	60	405
27/09/2025	3	1	11:49	21	55	417
27/09/2025	4	1	16:23	29	39	406
28/09/2025	5	1	11:05	22	55	426
29/09/2025	6	1	08:36	18	60	405
04/10/2025	7	1	10:01	21	65	497
04/10/2025	8	1	12:23	25	50	488
04/10/2025	9	1	15:53	25	61	410
04/10/2025	10	1	17:18	20	60	439
04/10/2025	11	1	19:00	18	69	405
05/10/2025	12	1	09:48	23	52	405
05/10/2025	13	1	11:59	25	49	421
05/10/2025	14	1	12:45	27	40	411
05/10/2025	15	1	16:07	23	50	430
05/10/2025	16	1	15:28	20	61	431

Anexo 7. Resultados de los ensayos in situ (Carbonatación y esclerometría) y en laboratorio (pH del concreto)



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 1
Columna: C-2

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.74 m	9.45	Ligeramente alcalino	12.17	Moderadamente alcalino
1.16 m	9.43	Ligeramente alcalino	11.97	Moderadamente alcalino
0.58 m	9.41	Ligeramente alcalino	11.99	Moderadamente alcalino

Escala del pH





ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

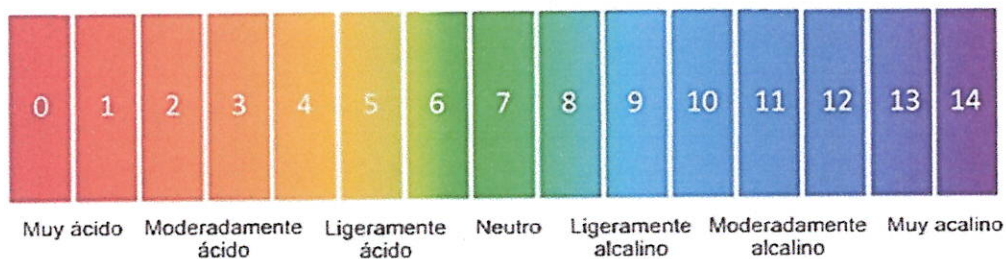
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 2
Columna: C-2

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.74 m	11.55	Moderadamente alcalino	12.17	Moderadamente alcalino
1.16 m	11.5	Moderadamente alcalino	11.97	Moderadamente alcalino
0.58 m	11.7	Moderadamente alcalino	11.99	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Eder Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 3
Columna: C-2

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.89 m	10.04	Ligeramente alcalino	12.17	Moderadamente alcalino
1.26 m	10.033	Ligeramente alcalino	11.97	Moderadamente alcalino
0.63 m	10.034	Ligeramente alcalino	11.99	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. *Blanca* Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

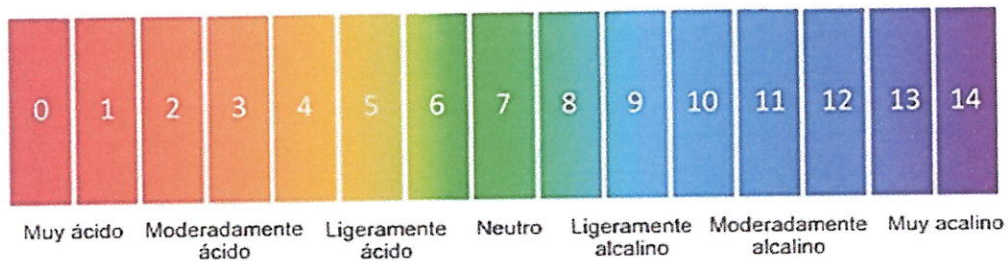
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 4
Columna: C-2

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.65 m	10.52	Ligeramente alcalino	12	Moderadamente alcalino
1.10 m	10.48	Ligeramente alcalino	11.28	Moderadamente alcalino
0.55 m	10.5	Ligeramente alcalino	11.94	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Eimer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

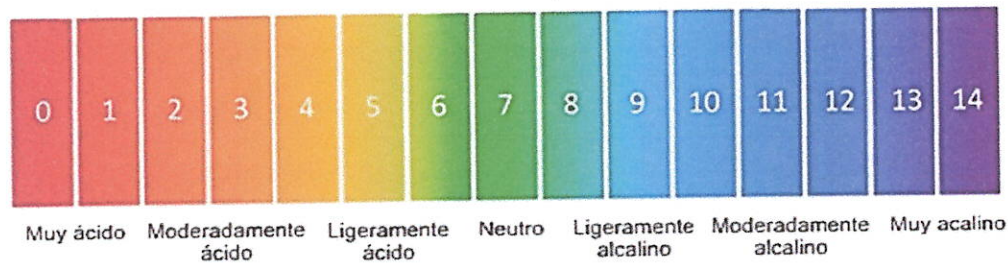
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 5
Columna: C-6

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.65 m	10.02	Ligeramente alcalino	11.44	Moderadamente alcalino
1.10 m	9.95	Ligeramente alcalino	11.97	Moderadamente alcalino
0.55 m	10.05	Ligeramente alcalino	11.26	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Pimer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 6
Columna: C-10

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.80 m	11.20	Moderadamente alcalino	10.47	Ligeramente alcalino
1.20 m	11.4	Moderadamente alcalino	10.12	Ligeramente alcalino
0.60 m	11.6	Moderadamente alcalino	9.09	Ligeramente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLÓGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 7
Columna: C-4

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.50 m	8.90	Ligeramente alcalino	11.95	Moderadamente alcalino
1.00 m	8.9	Ligeramente alcalino	12.02	Moderadamente alcalino
0.50 m	8.8	Ligeramente alcalino	10.63	Ligeramente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

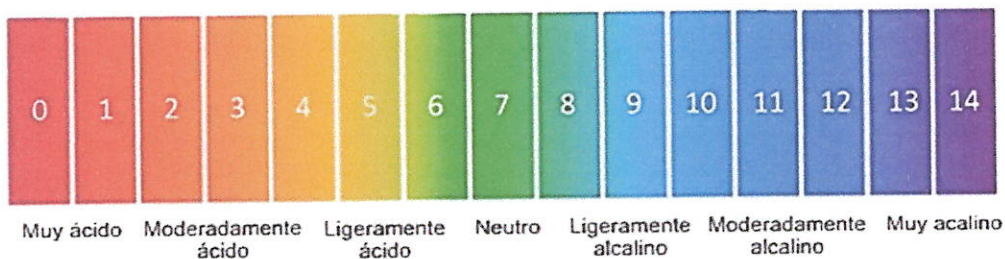
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 8
Columna: C-3

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.74 m	9.12	Ligeramente alcalino	11.42	Moderadamente alcalino
1.16 m	9.14	Ligeramente alcalino	11.93	Moderadamente alcalino
0.58 m	9.1	Ligeramente alcalino	11.11	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 9
Columna: C-11

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.65 m	9.70	Ligeramente alcalino	11.70	Moderadamente alcalino
1.10 m	9.85	Ligeramente alcalino	11.87	Moderadamente alcalino
0.55 m	9.9	Ligeramente alcalino	11.9	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

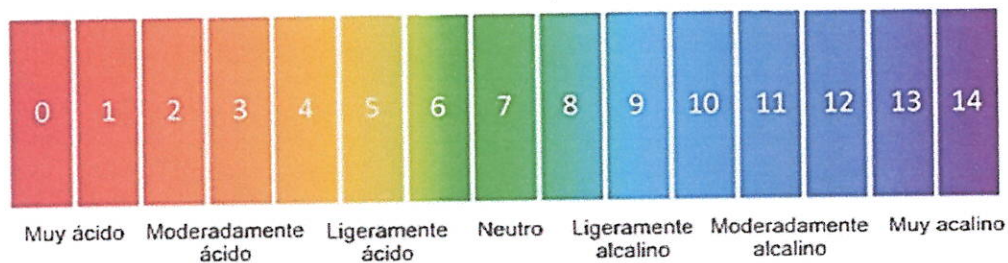
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 10
Columna: C-5

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.89 m	9.41	Ligeramente alcalino	12.10	Moderadamente alcalino
1.26 m	9.4	Ligeramente alcalino	12.11	Moderadamente alcalino
0.63 m	9.45	Ligeramente alcalino	12.05	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

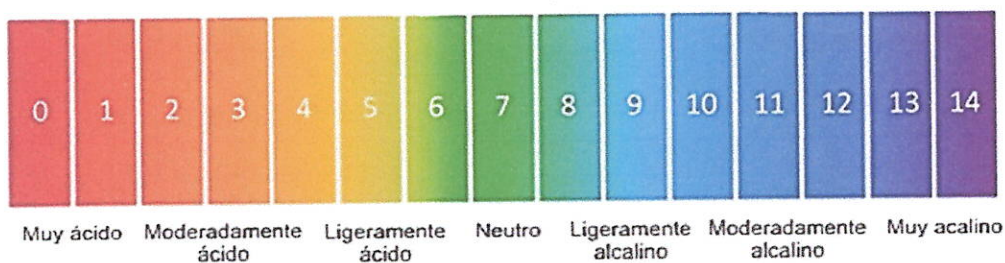
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 11
Columna: C-4

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
0.84 m	10.80	Ligeramente alcalino	12.12	Moderadamente alcalino
0.56 m	10.9	Ligeramente alcalino	12.14	Moderadamente alcalino
0.28 m	10.8	Ligeramente alcalino	12.08	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

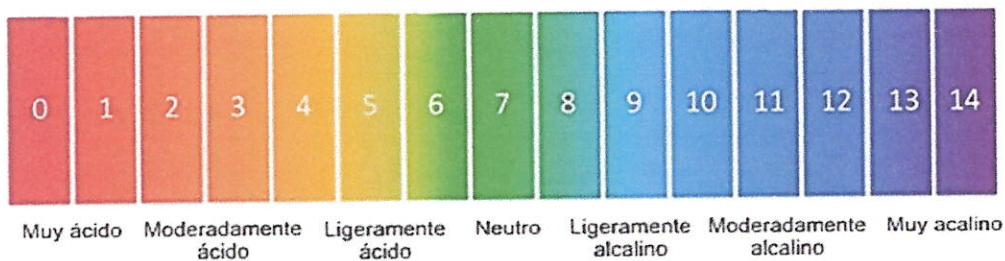
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 12
Columna: C-8

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.59 m	9.60	Ligeramente alcalino	11.79	Moderadamente alcalino
1.06 m	9.8	Ligeramente alcalino	11.88	Moderadamente alcalino
0.53 m	9.5	Ligeramente alcalino	11.93	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

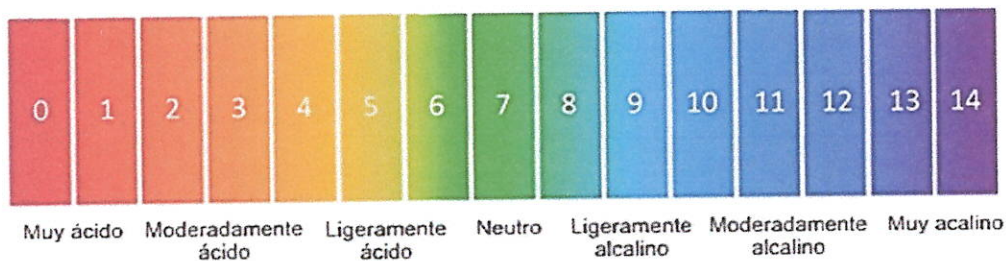
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 13
Columna: C-10

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.77 m	10.10	Ligeramente alcalino	10.58	Ligeramente alcalino
1.18 m	10.2	Ligeramente alcalino	10.7	Ligeramente alcalino
0.59 m	10.3	Ligeramente alcalino	10.9	Ligeramente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

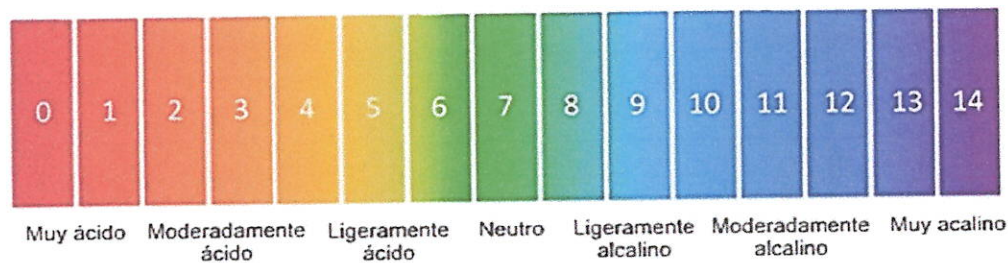
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 14
Columna: C-1

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.50 m	8.40	Ligeramente alcalino	11.95	Moderadamente alcalino
1.00 m	8.7	Ligeramente alcalino	12.02	Moderadamente alcalino
0.50 m	8.2	Ligeramente alcalino	10.12	Ligeramente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.
Ing. Emer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

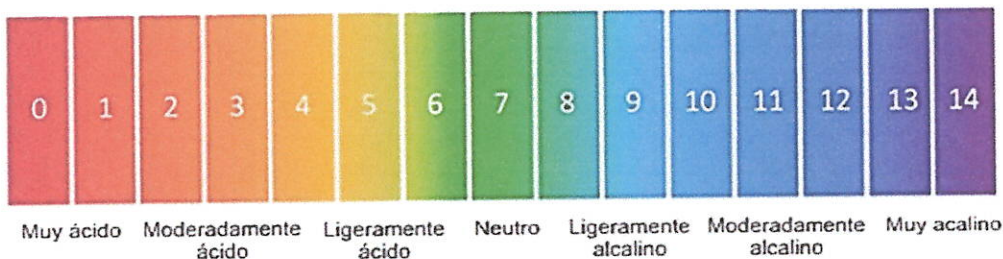
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 15
Columna: C-5

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
0.90 m	9.30	Ligeramente alcalino	11.85	Moderadamente alcalino
0.60 m	9.35	Ligeramente alcalino	11.51	Moderadamente alcalino
0.30 m		FALSO		FALSO

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Eder Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE pH AL CONCRETO EN COLUMNAS

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 16
Columna: C-1

Mii	Mi
Parte no carbonatada	Parte carbonatada

Altura	pH			
	Mi	Categoría	Mii	Categoría
1.59 m	9.03	Ligeramente alcalino	11.79	Moderadamente alcalino
1.06 m	9.05	Ligeramente alcalino	11.11	Moderadamente alcalino
0.53 m	8.95	Ligeramente alcalino	11.42	Moderadamente alcalino

Escala del pH



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

1

Columna

C-7

Punto

1

Altura

0.55 m

CODIGO

V1-C1-A

COLUMNA

7

PUNTO

1

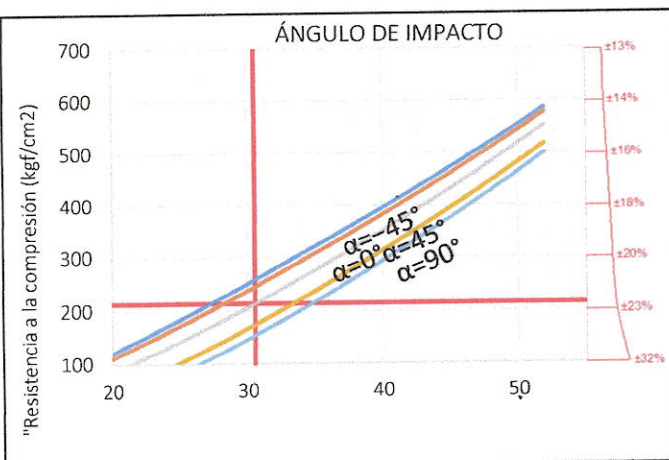
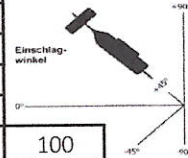
30	33	30
30	30	30
31	30	31

Dato descartado para el promedio

Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	33
3	30
4	30
5	30
6	30
7	31
8	30
9	31
Promedio	30.56
IE Corregido (xFC)	0.2258
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	214
Error +/-	48.32
Resistencia coregada (kg/cm ²)	166

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 1
Columna: C-7
Punto: 1
Altura: 1.10 m

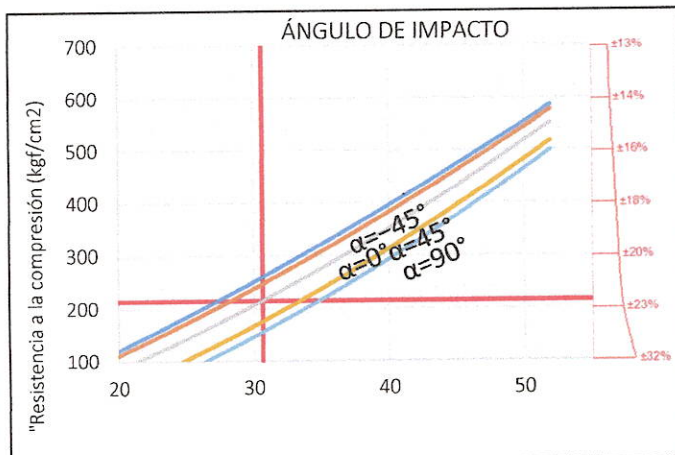
CODIGO: V1-C1-B

COLUMNA	7	
PUNTO	1	
32	31	30
32	30	28
30	33	30

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	32	-1.33
2	31	-0.33
3	30	0.67
4	32	-1.33
5	30	0.67
6	28	2.67
7	30	0.67
8	33	-2.33
9	30	0.67
Promedio	30.67	
IE Corregido (xFC)	0.2255	
Resistencia gráfica (kg/cm2)	215	
Error +/-	48.48	
Resistencia coregida (kg/cm2)	167	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E. I. R. L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por interperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

1

Columna

C-7

Punto

1

Altura

1.65 m

CODIGO

V1-C1-C

COLUMNA

7

PUNTO

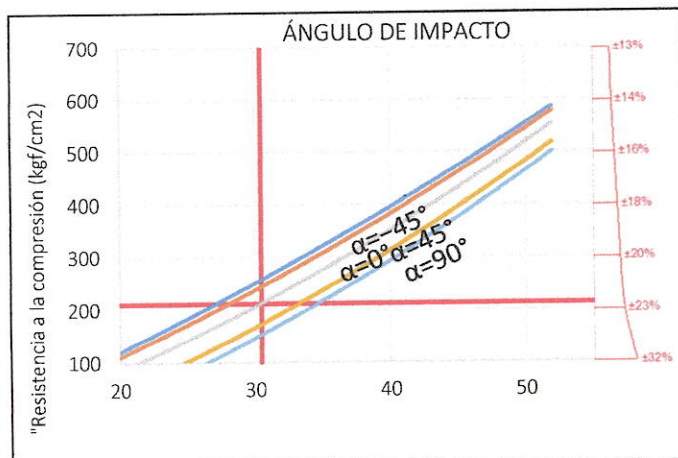
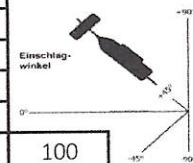
1

30	31	30
31	31	32
30	30	29

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	31
3	30
4	31
5	31
6	32
7	30
8	30
9	29
Promedio	30.44
IE Corregido (xFC)	0.2264
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	212
Error +/-	48.00
Resistencia coregida (kg/cm ²)	164

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA ELMER GUEVARA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

2

Columna

C-2

Punto

1

Altura

0.58 m

CODIGO

V2-C1-A

COLUMNA

1

PUNTO

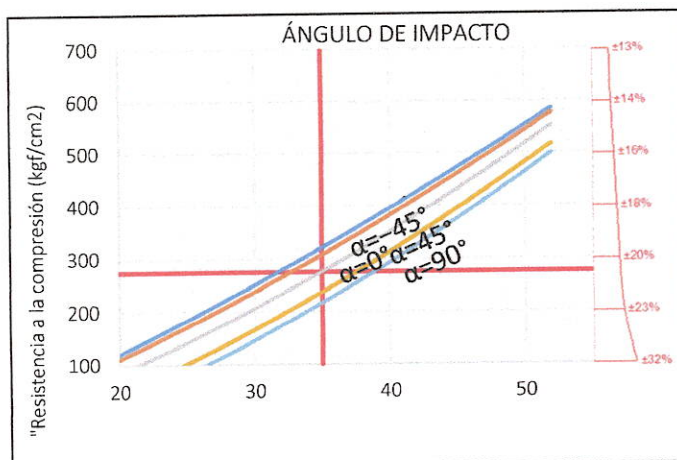
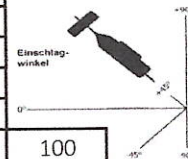
1

31	38	36
36	32	36
36	35	35

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	31
2	38
3	36
4	36
5	32
6	36
7	36
8	35
9	35
Promedio	35.00
IE Corregido (xFC)	0.2075
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	275
Error +/-	57.06
Resistencia coregada (kg/cm ²)	218

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 2

Columna: C-2

Punto: 1

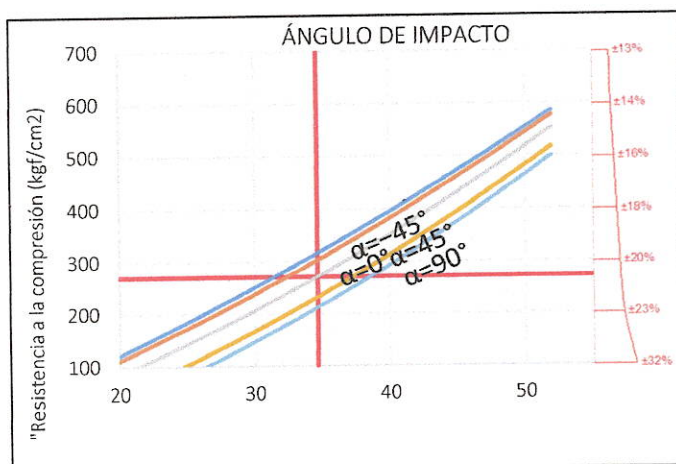
Altura: 1.73 m

CÓDIGO: V2-C1-C

COLUMNA	1
PUNTO	1
34	35
35	35
36	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	34
2	35
3	34
4	35
5	35
6	36
7	36
8	32
9	35
Promedio	34.67
IE Corregido (xFC)	0.2087
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	271
Error +/-	56.56
Resistencia coregada (kg/cm ²)	214



Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y FUNDAMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

3

Columna

C-1

Punto

1

Altura

0.63 m

CODIGO

V3-C1-A

COLUMNA

1

PUNTO

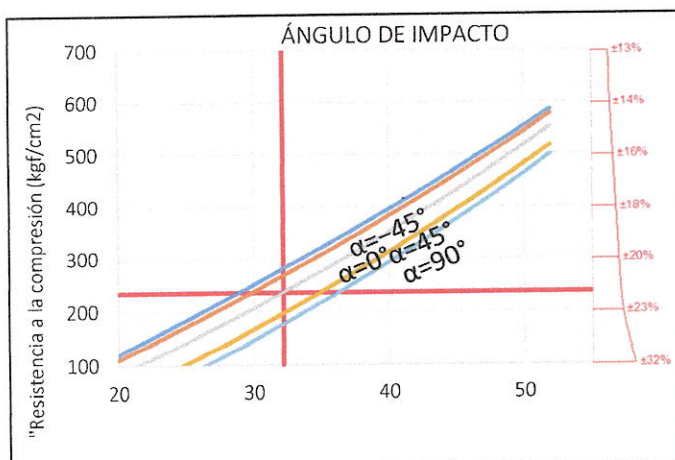
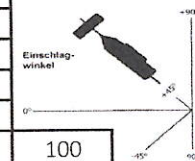
1

32	32	32
34	32	32
32	32	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32
2	32
3	32
4	34
5	32
6	32
7	32
8	32
9	32
Promedio	32.22
IE Corregido (xFC)	0.2192
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	236
Error +-	51.73
Resistencia coregida (kg/cm ²)	184

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Ren. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

3

Columna

C-1

Punto

1

Altura

1.25 m

CODIGO

V3-C1-B

COLUMNA

1

PUNTO

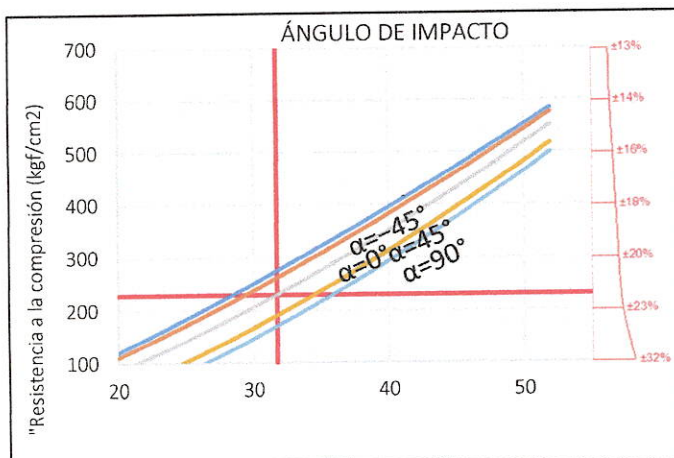
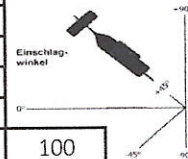
1

32	31	32
31	32	33
32	31	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32
2	31
3	32
4	31
5	32
6	33
7	32
8	31
9	32
Promedio	31.78
IE Corregido (xFC)	0.2210
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	230
Error +/-	50.83
Resistencia coregida (kg/cm ²)	179

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda: 3

Columna: C-2

Punto: 1

Altura: 1.88 m

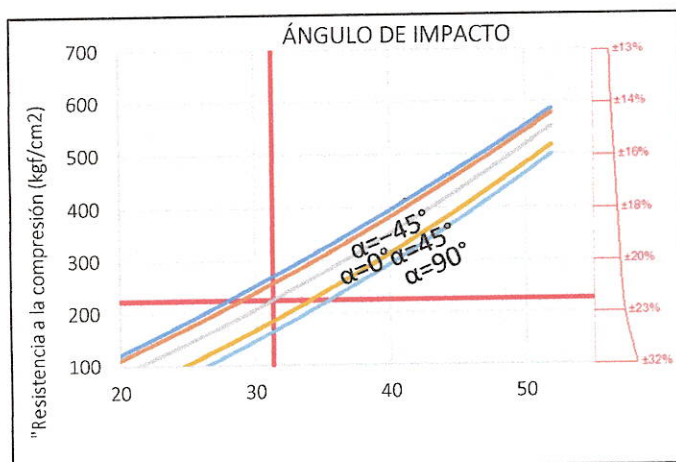
CÓDIGO: V3-C1-C

COLUMNA	1	
PUNTO	1	
28	31	32
31	32	33
32	31	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	28	3.33
2	31	0.33
3	32	-0.67
4	31	0.33
5	32	-0.67
6	33	-1.67
7	32	-0.67
8	31	0.33
9	32	-0.67
Promedio	31.33	
IE Corregido (xFC)	0.2228	
Resistencia gráfica (kg/cm2)	224	
Error +-	49.91	
Resistencia coregada (kg/cm2)	174	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.
Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Tesistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

4

C-7

1

0.55 m

V3-C1-A

COLUMNA

7

PUNTO

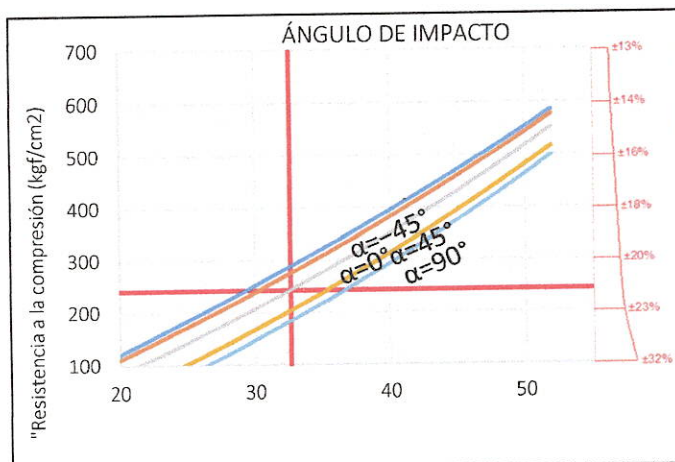
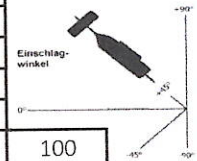
1

32	32	34
34	32	32
32	34	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32
2	32
3	34
4	34
5	32
6	32
7	32
8	34
9	32
Promedio	32.67
IE Corregido (xFC)	0.2174
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	242
Error +/-	52.61
Resistencia coregada (kg/cm ²)	189

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elinor Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

4

Columna

C-7

Punto

1

Altura

1.65 m

CODIGO

V4-C1-C

COLUMNA

7

PUNTO

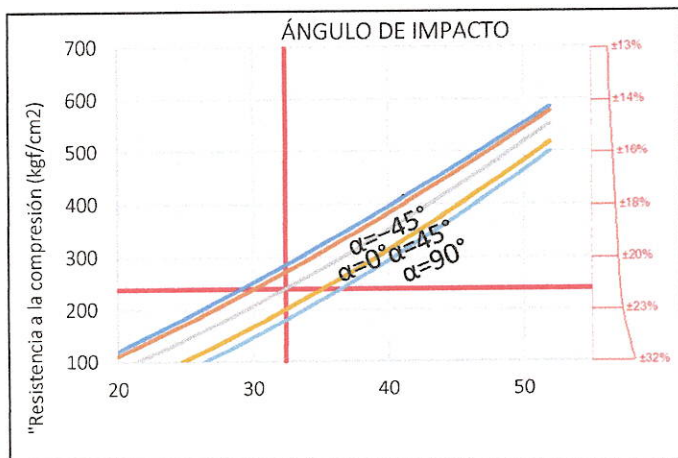
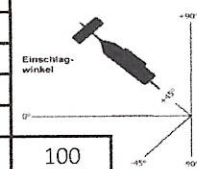
1

33	33	31
33	32	32
32	33	33

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	33 -0.56
2	33 -0.56
3	31 1.44
4	33 -0.56
5	32 0.44
6	32 0.44
7	32 0.44
8	33 -0.56
9	33 -0.56
Promedio	32.44
IE Corregido (xFC)	0.2183
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	239
Error +-	52.17
Resistencia coregida (kg/cm ²)	187

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Testistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

5

C-6

1

0.55 m

V5-C1-A

COLUMNA

6

PUNTO

1

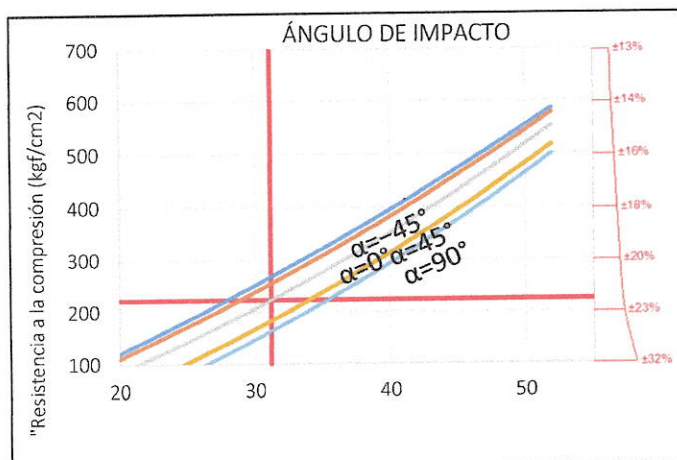
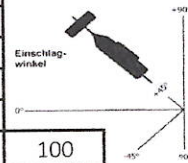
32	30	31
30	30	31
33	32	32

Dato descartado para el promedio

Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	32	-0.78
2	30	1.22
3	31	0.22
4	30	1.22
5	30	1.22
6	31	0.22
7	33	-1.78
8	32	-0.78
9	32	-0.78
Promedio	31.22	
IE Corregido (xFC)	0.2231	
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	223	
Error +/-	49.75	
Resistencia coregada (kg/cm ²)	173	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

5

Columna

C-6

Punto

1

Altura

1.10 m

CODIGO

V5-C1-B

COLUMNA

6

PUNTO

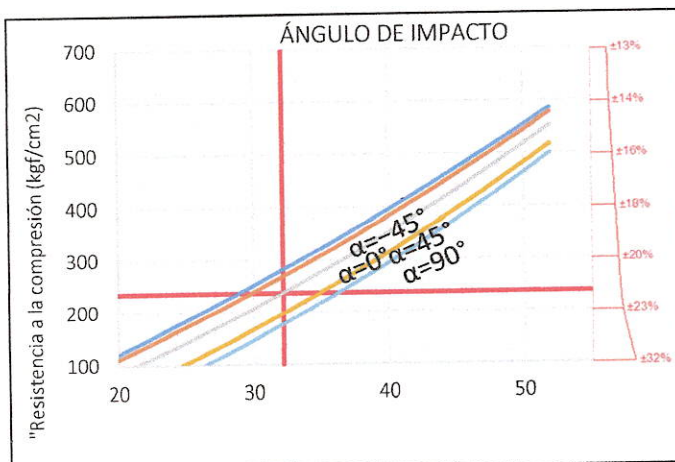
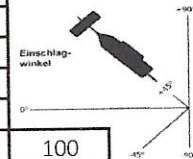
1

33	32	32
32	32	33
33	31	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	33
2	32
3	32
4	32
5	32
6	33
7	33
8	31
9	32
Promedio	32.22
IE Corregido (xFC)	0.2192
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	236
Error +/-	51.73
Resistencia coregada (kg/cm ²)	184

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
R.C. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Robert Campos Muñoz

Vivienda

5

Columna

C-6

Punto

1

Altura

1.65 m

CÓDIGO

V5-C1-C

COLUMNA

6

PUNTO

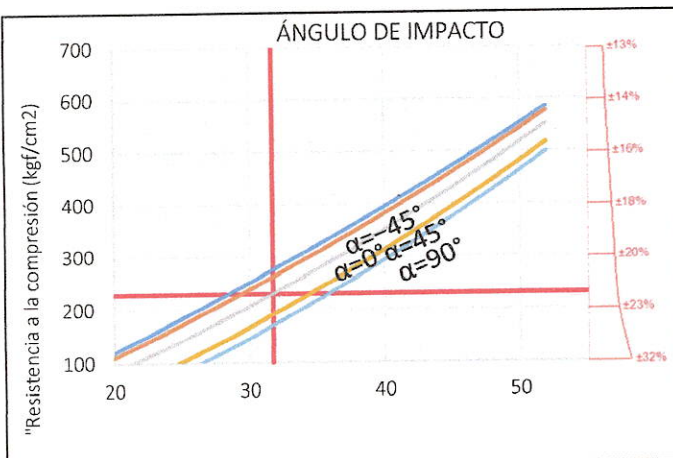
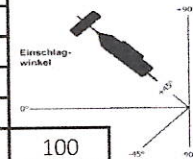
1

32	33	31
32	31	31
31	32	33

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32 -0.22
2	33 -1.22
3	31 0.78
4	32 -0.22
5	31 0.78
6	31 0.78
7	31 0.78
8	32 -0.22
9	33 -1.22
Promedio	31.78
IE Corregido (xFC)	0.2210
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	230
Error +-	50.83
Resistencia coregida (kg/cm ²)	179

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Emmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

6

Columna

C-10

Punto

1

Altura

0.60 m

CODIGO

V6-C1-A

COLUMNA

10

PUNTO

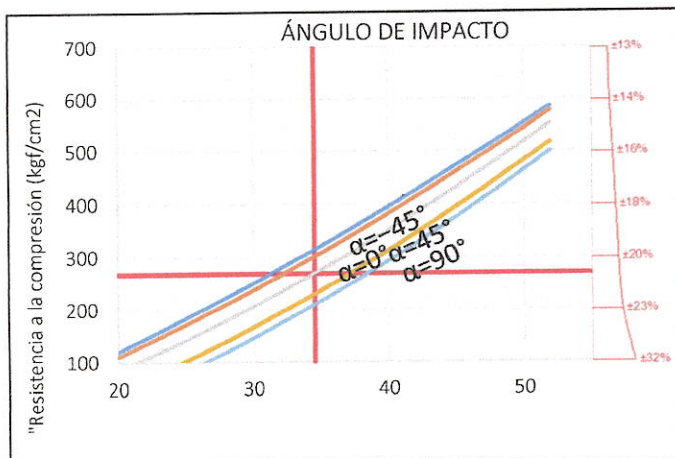
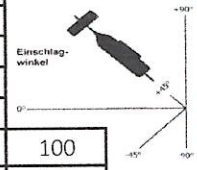
1

34	34	36
34	33	34
35	36	35

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	34
2	34
3	36
4	34
5	33
6	34
7	35
8	36
9	35
Promedio	34.56
IE Corregido (xFC)	0.2093
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	269
Error +/-	56.30
Resistencia coregida (kg/cm ²)	213

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Testistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

6

C-10

1

1.20 m

V6-C1-B

COLUMNA 10

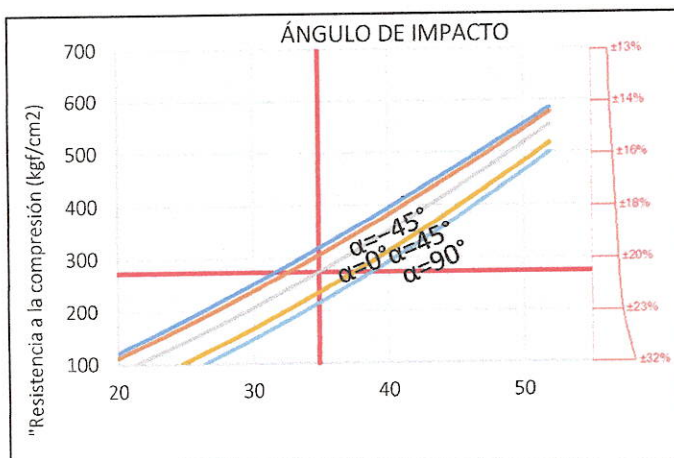
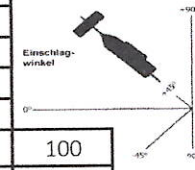
PUNTO 1

36	35	35
35	34	34
36	35	34

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	36
2	35
3	35
4	35
5	34
6	34
7	36
8	35
9	34
Promedio	34.89
IE Corregido (xFC)	0.2078
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	274
Error +/-	56.94
Resistencia coregida (kg/cm ²)	217

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
R.O.C. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

6

Columna

C-10

Punto

1

Altura

1.80 m

CODIGO

V6-C1-C

COLUMNA

10

PUNTO

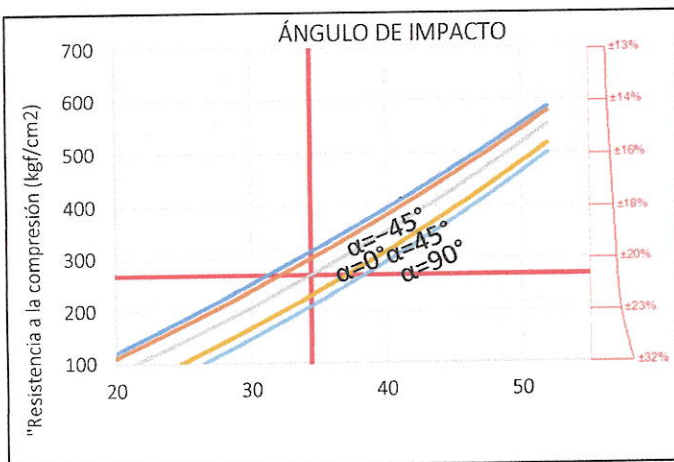
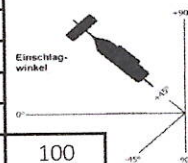
1

34	34	36
36	34	33
34	34	35

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	34
2	34
3	36
4	36
5	34
6	33
7	34
8	34
9	35
Promedio	34.44
IE Corregido (xFC)	0.2096
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	268
Error +-	56.17
Resistencia coregida (kg/cm ²)	212

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTORA MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Tesistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CÓDIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Robert Campos Muñoz

7

C-4

1

0.50 m

V7-C1-A

COLUMNA

4

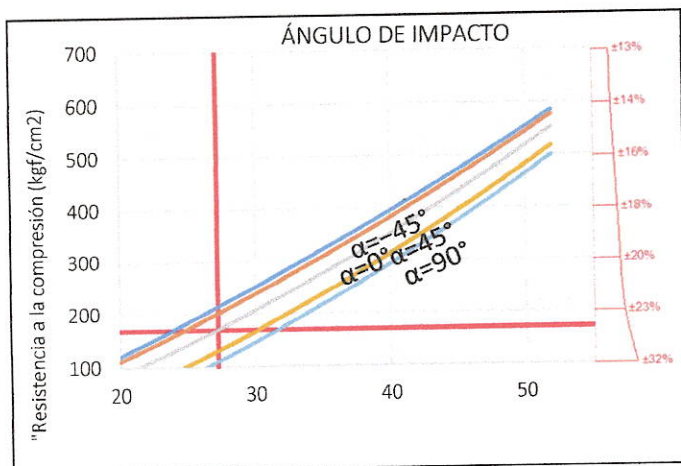
PUNTO

1

26	27	27
27	27	28
28	28	27

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	26	1.22
2	27	0.22
3	27	0.22
4	27	0.22
5	27	0.22
6	28	-0.78
7	28	-0.78
8	28	-0.78
9	27	0.22
Promedio	27.22	
IE Corregido (xFC)	0.2570	
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	170	
Error +/-	43.69	
Resistencia coregada (kg/cm ²)	126	



Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Testistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

7

C-4

1

1.00 m

V7-C1-B

COLUMNA

4

PUNTO

1

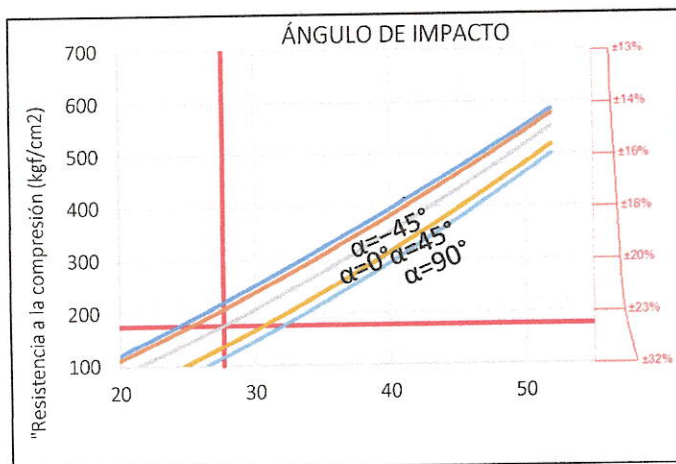
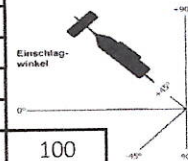
29	27	28
26	28	28
28	26	29

Dato descartado para el promedio

Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	29
2	27
3	28
4	26
5	28
6	28
7	28
8	26
9	29
Promedio	27.67
IE Corregido (xFC)	0.2516
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	176
Error +/-	44.28
Resistencia coregada (kg/cm ²)	132

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Eder Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

7

Columna

C-4

Punto

1

Altura

1.50 m

CODIGO

V7-C1-C

COLUMNA

4

PUNTO

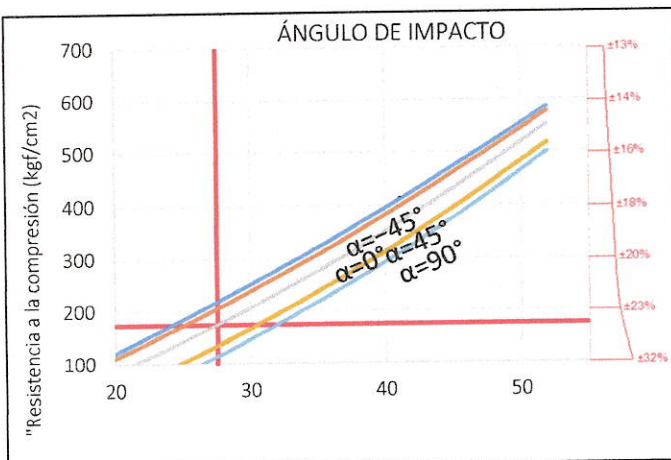
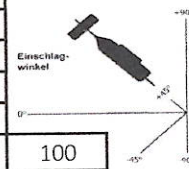
1

27	28	29
28	26	30
27	27	26

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	27
2	28
3	29
4	28
5	26
6	30
7	27
8	27
9	26
Promedio	27.56
IE Corregido (xFC)	0.2534
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	174
Error +/-	44.09
Resistencia coregada (kg/cm ²)	130

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

8

Columna

C-3

Punto

1

Altura

0.58 m

CODIGO

V8-C1-A

COLUMNA

3

PUNTO

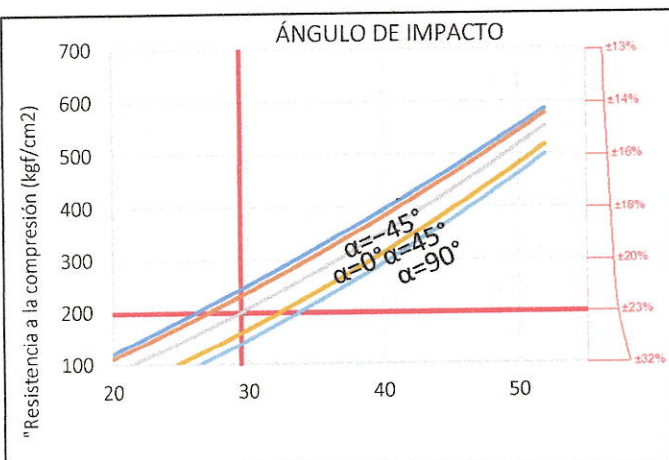
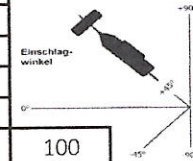
1

29	30	28
31	32	31
28	28	28

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	29
2	30
3	28
4	31
5	32
6	31
7	28
8	28
9	28
Promedio	29.44
IE Corregido (xFC)	0.2309
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	199
Error +/-	45.95
Resistencia coregida (kg/cm ²)	153

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Testistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

8

C-3

1

1.15 m

V8-C1-B

COLUMNA

3

PUNTO

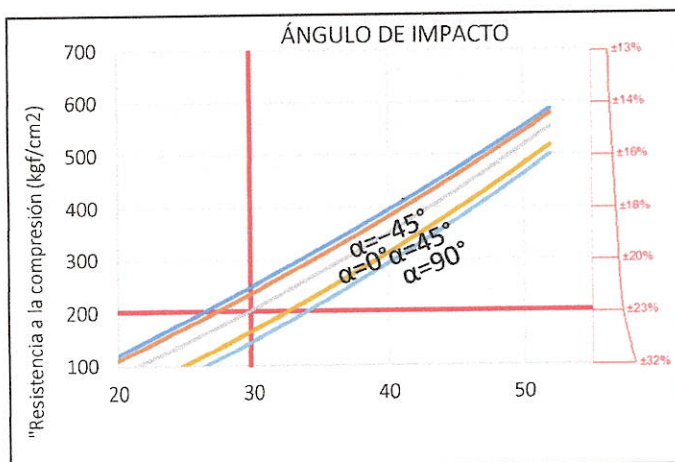
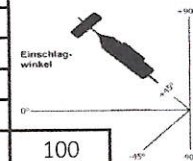
1

32	28	28
32	32	32
28	28	28

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	32	-2.22
2	28	1.78
3	28	1.78
4	32	-2.22
5	32	-2.22
6	32	-2.22
7	28	1.78
8	28	1.78
9	28	1.78
Promedio	29.78	
IE Corregido (xFC)	0.2291	
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	203	
Error +/-	46.51	
Resistencia coregida (kg/cm ²)	156	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Eusebio Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Tesistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

8

C-3

1

1.73 m

V8-C1-C

COLUMNA

3

PUNTO

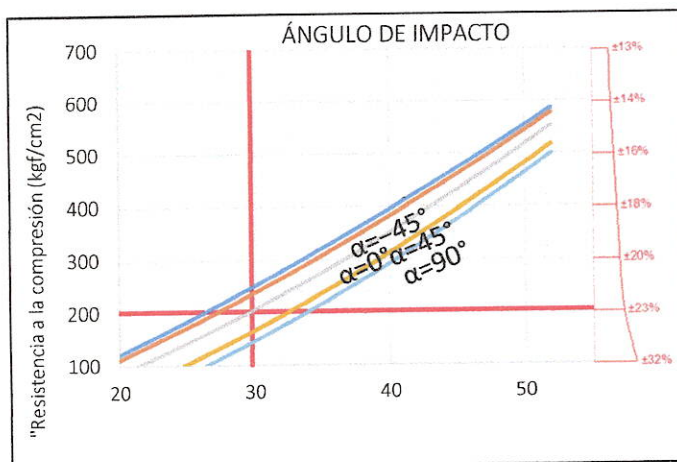
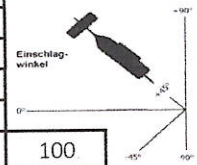
1

28	30	30
31	28	30
31	30	30

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	28	1.78
2	30	-0.22
3	30	-0.22
4	31	-1.22
5	28	1.78
6	30	-0.22
7	31	-1.22
8	30	-0.22
9	30	-0.22
Promedio	29.78	
IE Corregido (xFC)	0.2291	
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	203	
Error +/-	46.51	
Resistencia coregada (kg/cm ²)	156	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

9

Columna

C-11

Punto

1

Altura

0.55 m

CODIGO

V9-C1-A

COLUMNA

11

PUNTO

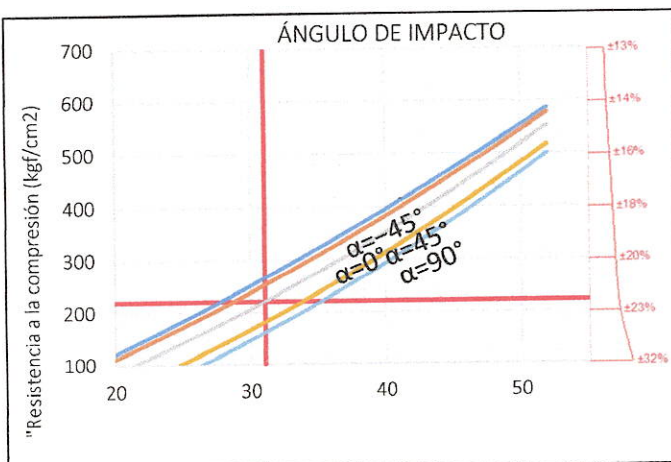
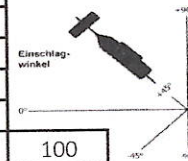
1

30	32	31
32	33	30
32	30	30

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	32
3	31
4	32
5	33
6	30
7	32
8	30
9	30
Promedio	31.11
IE Corregido (xFC)	0.2237
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	221
Error +/-	49.44
Resistencia coregada (kg/cm ²)	172

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

9

Columna

C-11

Punto

1

Altura

1.65 m

CODIGO

V9-C1-C

COLUMNA

11

PUNTO

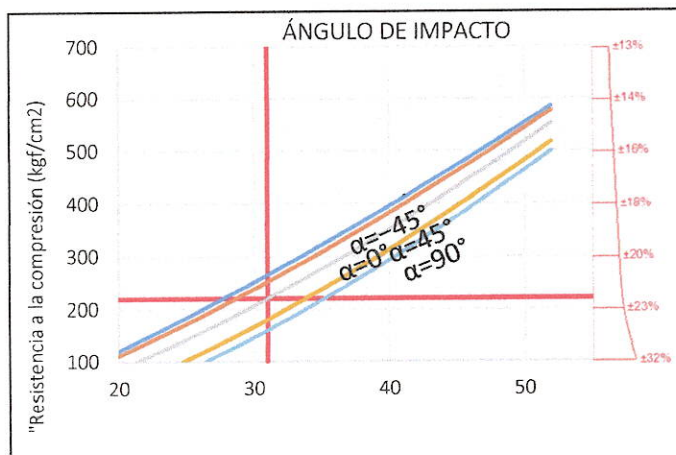
1

30	32	30
31	31	32
30	32	31

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	32
3	30
4	31
5	31
6	32
7	30
8	32
9	31
Promedio	31.00
IE Corregido (xFC)	0.2240
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	220
Error +/-	49.28
Resistencia corregida (kg/cm ²)	171

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

The Eimer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

10

Columna

C-5

Punto

1

Altura

0.55 m

CODIGO

V10-C1-A

COLUMNA

5

PUNTO

1

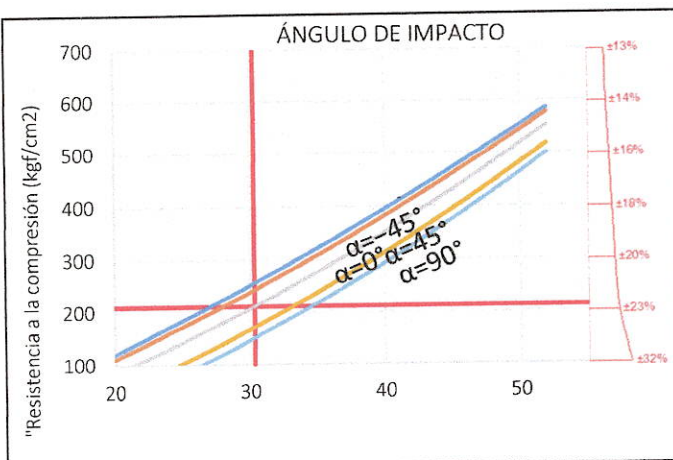
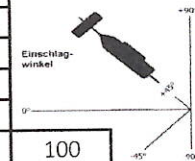
30	29	30
30	33	29
30	32	30

Dato descartado para el promedio

Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	29
3	30
4	30
5	33
6	29
7	30
8	32
9	30
Promedio	30.33
IE Corregido (xFC)	0.2267
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	211
Error +/-	47.83
Resistencia coregada (kg/cm ²)	163

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E IRL

Ing. Daniel Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

10

Columna

C-5

Punto

1

Altura

1.10 m

CODIGO

V10-C1-B

COLUMNA

5

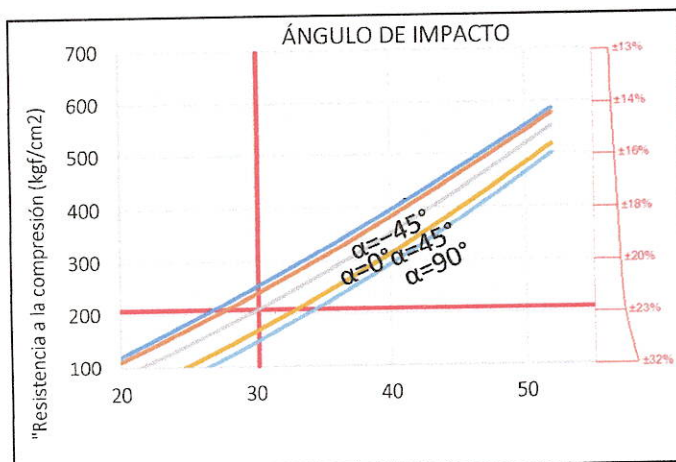
PUNTO

1

34	29	32
29	29	29
33	28	29

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	34
2	29
3	32
4	29
5	29
6	29
7	33
8	28
9	29
Promedio	30.22
IE Corregido (xFC)	0.2273
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	209
Error +/-	47.51
Resistencia coregida (kg/cm ²)	161



Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTORA MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

10

Columna

C-5

Punto

1

Altura

1.65 m

CÓDIGO

V10-C1-C

COLUMNA

5

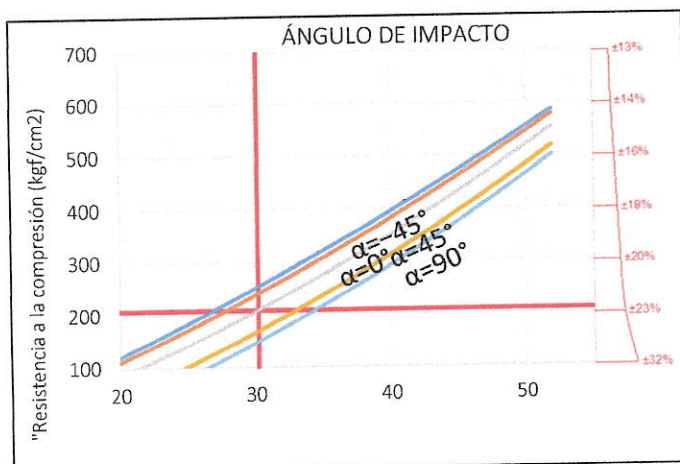
PUNTO

1

32	28	28
32	28	29
31	32	32

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32
2	28
3	28
4	32
5	28
6	29
7	31
8	32
9	32
Promedio	30.22
IE Corregido (xFC)	0.2273
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	209
Error +/-	47.51
Resistencia coregada (kg/cm ²)	161



Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

11

Columna

C-4

Punto

1

Altura

0.28 m

CODIGO

V11-C1-A

COLUMNA

4

PUNTO

1

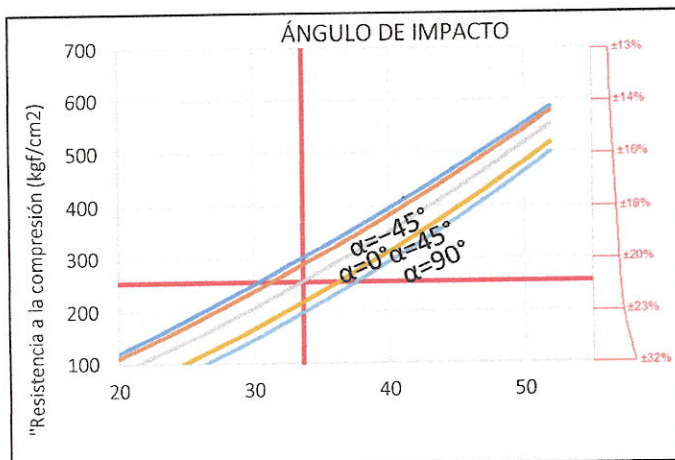
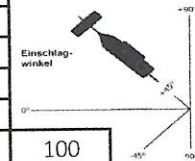
34	34	32
34	33	35
33	34	34

Dato descartado para el promedio

Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	34
2	34
3	32
4	34
5	33
6	35
7	33
8	34
9	34
Promedio	33.67
IE Corregido (xFC)	0.2132
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	256
Error +/-	54.58
Resistencia coregada (kg/cm ²)	201

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

11

Columna

C-4

Punto

1

Altura

0.83 m

CODIGO

V11-C1-C

COLUMNA

4

PUNTO

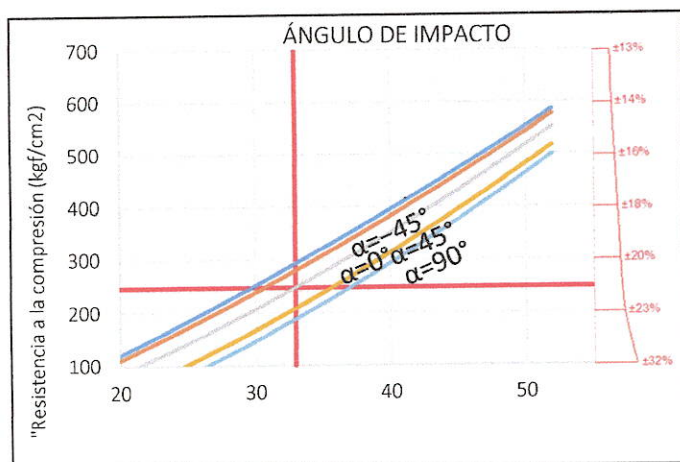
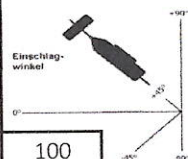
1

33	30	32
32	34	35
32	35	34

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	33
2	30
3	32
4	32
5	34
6	35
7	32
8	35
9	34
Promedio	33.00
IE Corregido (xFC)	0.2159
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	247
Error +/-	53.33
Resistencia coregida (kg/cm ²)	194

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

12

Columna

C-8

Punto

1

Altura

0.53 m

CODIGO

V12-C1-A

COLUMNA

8

PUNTO

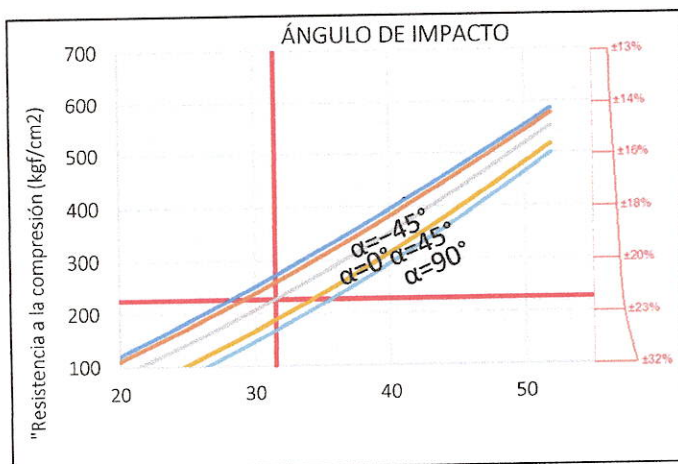
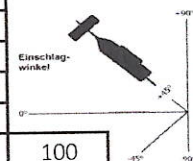
1

33	33	30
30	30	34
32	31	31

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	33
2	33
3	30
4	30
5	30
6	34
7	32
8	31
9	31
Promedio	31.56
IE Corregido (xFC)	0.2219
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	227
Error +/-	50.37
Resistencia coregida (kg/cm ²)	177

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

12

Columna

C-8

Punto

1

Altura

1.05 m

CODIGO

V12-C1-B

COLUMNA

8

PUNTO

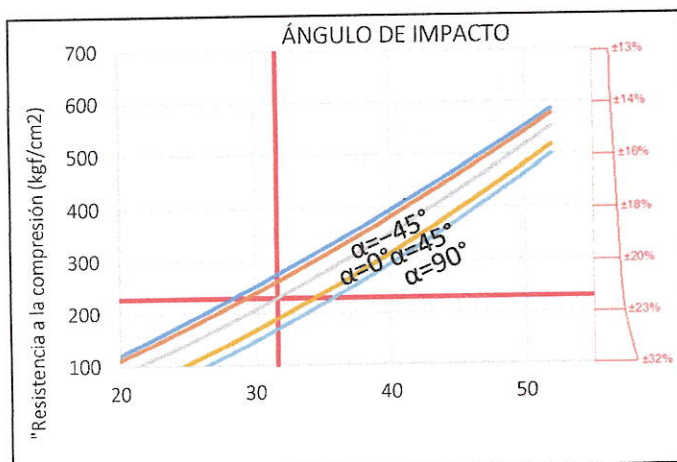
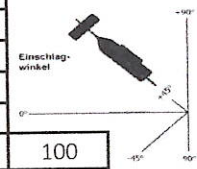
1

32	32	32
31	30	34
30	31	33

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32
2	32
3	32
4	31
5	30
6	34
7	30
8	31
9	33
Promedio	31.67
IE Corregido (xFC)	0.2213
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	229
Error +-	50.68
Resistencia coregida (kg/cm ²)	178

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L

Ing. Dimer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

12

Columna

C-8

Punto

1

Altura

1.58 m

CODIGO

V12-C1-C

COLUMNA

8

PUNTO

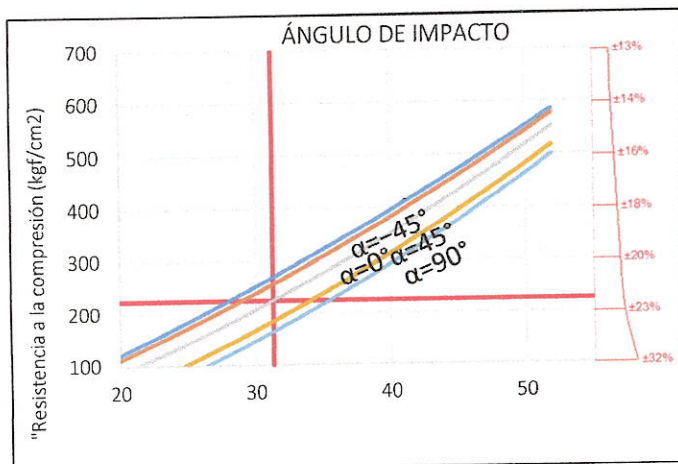
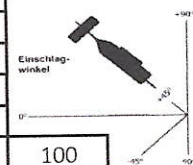
1

31	30	30
33	33	34
30	30	31

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	31
2	30
3	30
4	33
5	33
6	34
7	30
8	30
9	31
Promedio	31.33
IE Corregido (xFC)	0.2228
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	224
Error +/-	49.91
Resistencia coregida (kg/cm ²)	174

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305717



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

13

Columna

C-8

Punto

1

Altura

0.59 m

CODIGO

V13-C1-A

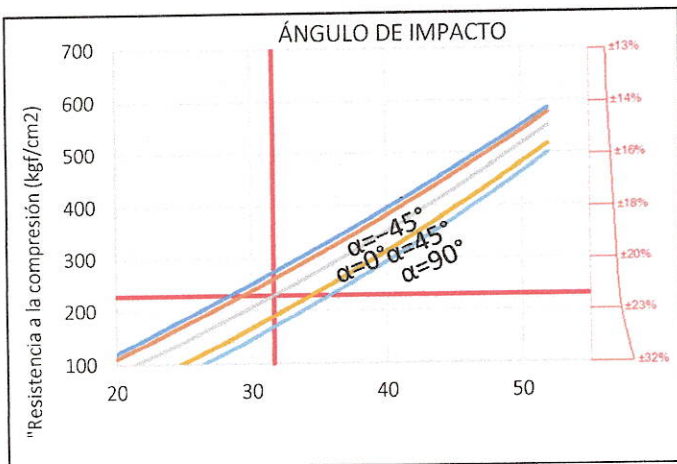
COLUMNA 8

PUNTO 1

30	33	33
33	33	33
30	30	30

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	33
3	33
4	33
5	33
6	33
7	30
8	30
9	30
Promedio	31.67
IE Corregido (xFC)	0.2213
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	229
Error +-	50.68
Resistencia coregida (kg/cm ²)	178



Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

13

Columna

C-8

Punto

1

Altura

1.18 m

CODIGO

V13-C1-B

COLUMNA

8

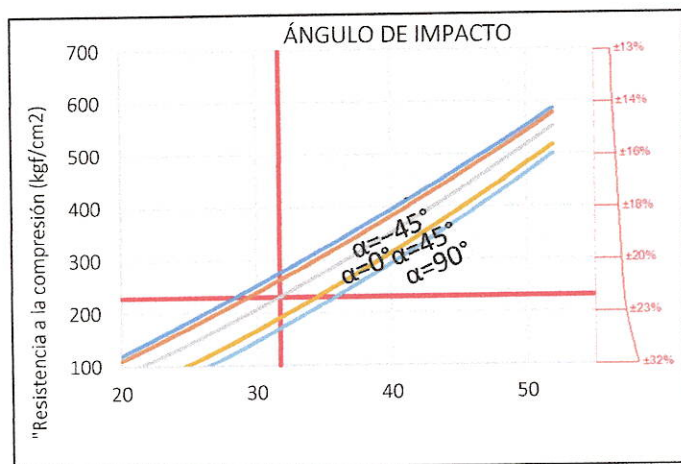
PUNTO

1

30	33	30
32	32	32
32	32	33

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	30
2	33
3	30
4	32
5	32
6	32
7	32
8	32
9	33
Promedio	31.78
IE Corregido (xFC)	0.2210
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	230
Error +-	50.83
Resistencia coregada (kg/cm ²)	179



Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

13

Columna

C-8

Punto

1

Altura

1.77 m

CODIGO

V13-C1-C

COLUMNA

8

PUNTO

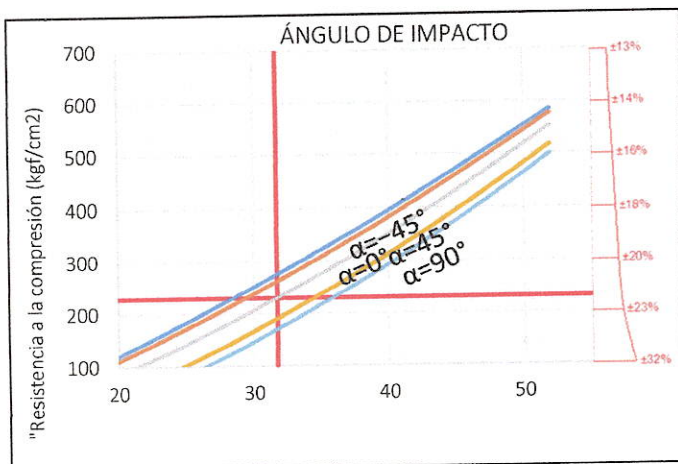
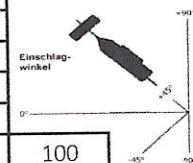
1

32	32	33
33	32	30
33	33	28

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	32
2	32
3	33
4	33
5	32
6	30
7	33
8	33
9	28
Promedio	31.78
IE Corregido (xFC)	0.2210
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	230
Error +/-	50.83
Resistencia coregada (kg/cm ²)	179

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Tesistas

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

14

Columna

C-1

Punto

1

Altura

0.50 m

CODIGO

V14-C1-A

COLUMNA

1

PUNTO

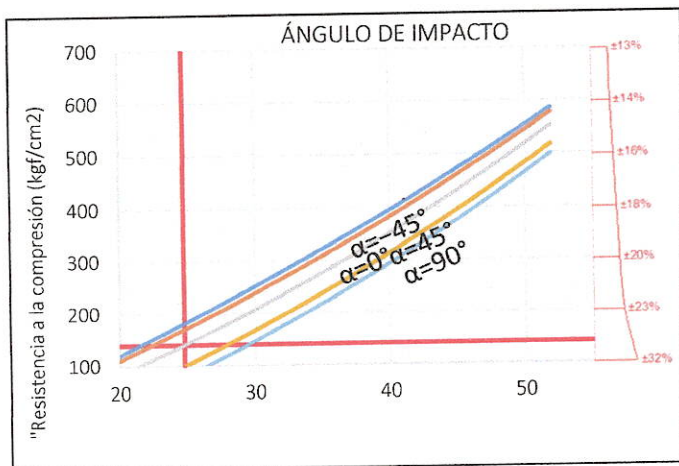
1

26	26	24
24	25	24
25	24	25

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	26	-1.22
2	26	-1.22
3	24	0.78
4	24	0.78
5	25	-0.22
6	24	0.78
7	25	-0.22
8	24	0.78
9	25	-0.22
Promedio	24.78	
IE Corregido (xFC)	0.2840	
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	140	
Error +/-	39.76	
Resistencia coregada (kg/cm ²)	100	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

14

Columna

C-1

Punto

1

Altura

1.00 m

CODIGO

V14-C1-B

COLUMNA

1

PUNTO

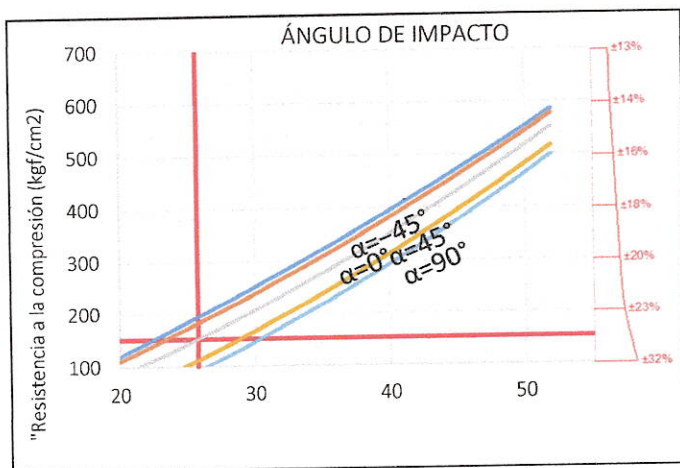
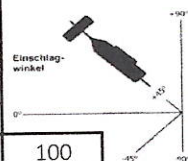
1

25	27	26
26	26	26
25	26	25

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	25
2	27
3	26
4	26
5	26
6	26
7	25
8	26
9	25
Promedio	25.78
IE Corregido (xFC)	0.2732
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	152
Error +/-	41.53
Resistencia coregada (kg/cm ²)	110

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elyner Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Tesistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

14

C-1

1

1.50 m

V14-C1-C

COLUMNA

1

PUNTO

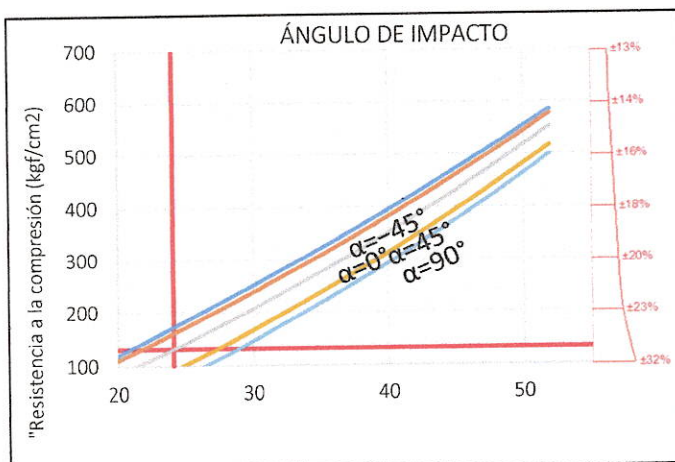
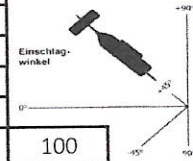
1

24	24	28
22	24	22
24	24	25

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	24
2	24
3	28
4	22
5	24
6	22
7	24
8	24
9	25
Promedio	24.11
IE Corregido (xFC)	0.2912
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	132
Error +/-	38.44
Resistencia coregida (kg/cm ²)	94

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

15

Columna

C-5

Punto

1

Altura

0.80 m

CODIGO

V15-C1-B

COLUMNA

5

PUNTO

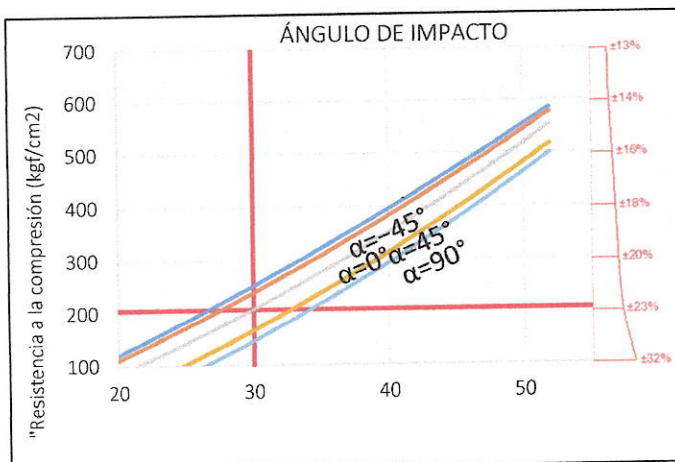
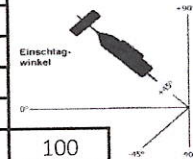
1

29	30	30
29	30	29
30	33	30

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	29
2	30
3	30
4	29
5	30
6	29
7	30
8	33
9	30
Promedio	30.00
IE Corregido (xFC)	0.2282
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	206
Error +/-	47.01
Resistencia coregida (kg/cm ²)	159

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550





ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Testistas

Vivienda

Columna

Punto

Altura

CODIGO

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

16

C-2

1

0.53 m

V16-C1-A

COLUMNA

2

PUNTO

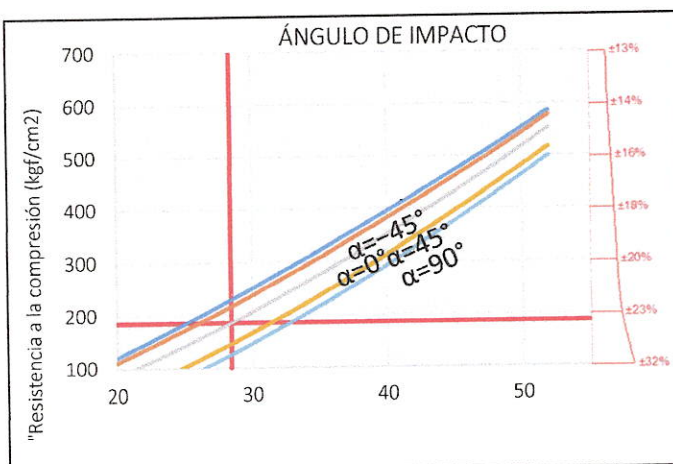
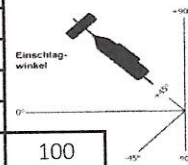
1

28	28	26
32	30	28
30	28	26

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo	
	0°	
Puntos	Elemento estructural	
	Columna	Δ
1	28	0.44
2	28	0.44
3	26	2.44
4	32	-3.56
5	30	-1.56
6	28	0.44
7	30	-1.56
8	28	0.44
9	26	2.44
Promedio	28.44	
IE Corregido (xFC)	0.2426	
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	186	
Error +/-	45.12	
Resistencia coregada (kg/cm ²)	141	

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

16

Columna

C-2

Punto

1

Altura

1.05 m

CODIGO

V16-C1-B

COLUMNA

2

PUNTO

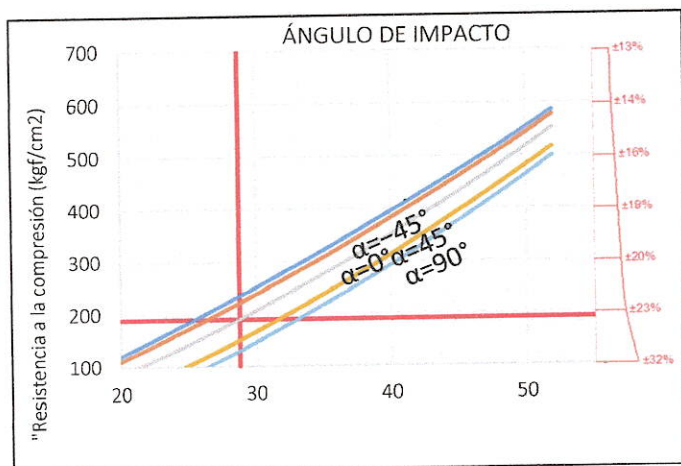
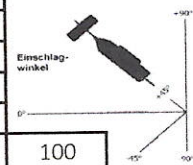
1

28	28	28
31	30	30
28	28	28

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	28
2	28
3	28
4	31
5	30
6	30
7	28
8	28
9	28
Promedio	28.78
IE Corregido (xFC)	0.2390
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	190
Error +/-	45.41
Resistencia coregada (kg/cm ²)	145

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTORA MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

16

Columna

C-2

Punto

1

Altura

1.58 m

CÓDIGO

V16-C1-C

COLUMNA

2

PUNTO

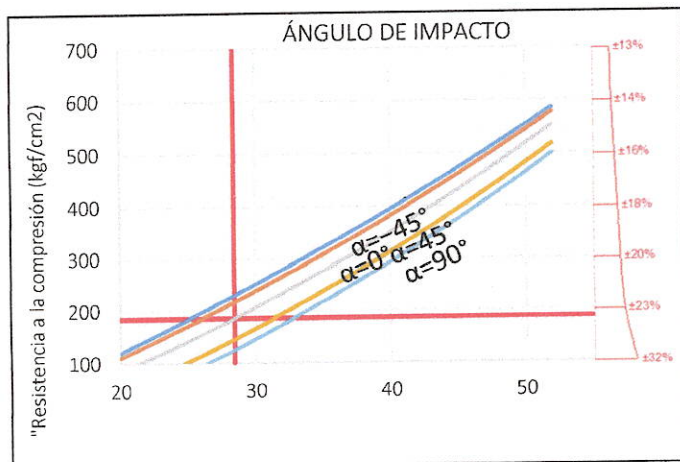
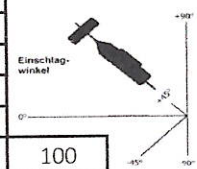
1

28	30	28
28	28	28
28	30	28

Dato descartado para el promedio
Solo si $\Delta \geq \pm 6.00$

Resultado de esclerometría	Ángulo
	0°
Puntos	Elemento estructural
	Columna
	Δ
1	28
2	30
3	28
4	28
5	28
6	28
7	28
8	30
9	28
Promedio	28.44
IE Corregido (xFC)	0.2426
Resistencia gráfica (kg/cm ²)	186
Error +/-	45.12
Resistencia coregida (kg/cm ²)	141

Ángulo de impacto					
R	$\alpha = -90$	$\alpha = -45$	$\alpha = 0$	$\alpha = +45$	$\alpha = +90$
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	260	230	190	170
33	290	280	250	210	190
34	300	290	260	220	200
35	320	310	260	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	360	330	295	275
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	430	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	600	600	580	550	530
55	600	600	600	570	550



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAB MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elyner Guevara Mejia
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

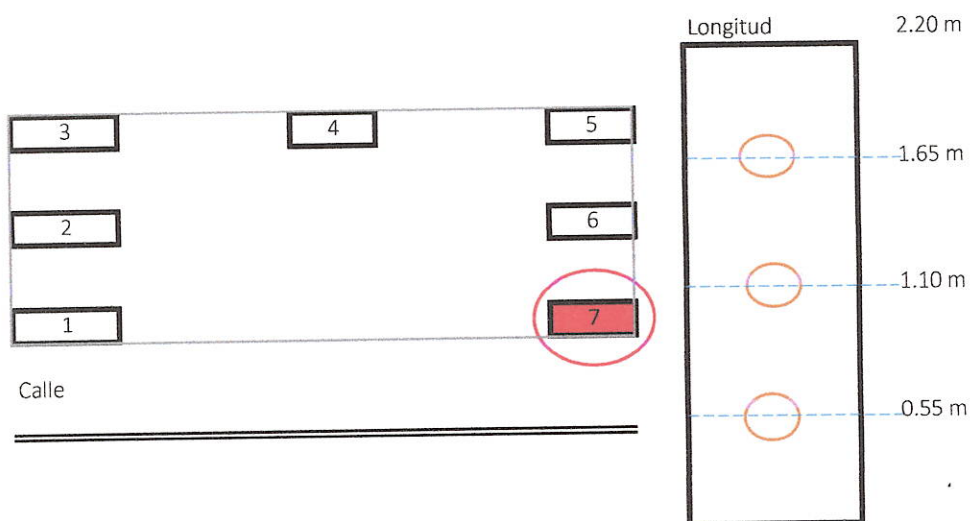
Tesis Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	1
Dirección	Jr. Juan Ramires Nº228
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760434
Norte (m)	9274411
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda multifamiliar
Número de pisos	3+azotea
Antigüedad de la edificación	12
Estado de la vivienda	Regular
Número de columnas	7
Código de columna seleccionada	C-7
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.2
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.2

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna

Bosquejo en elevación





ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Vivienda

Ronald Robert Campos Muñoz

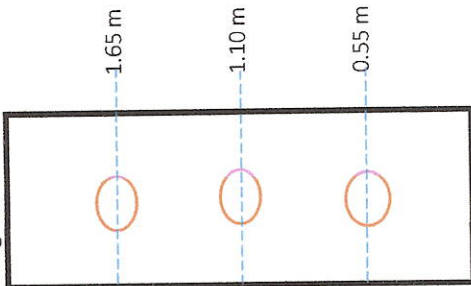
Columna

1

C-7

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
12	1.65 m	3.5	2.8	Parcial	80.00%	0.81
12	1.10 m	3.5	2.75	Parcial	78.57%	0.79
12	0.55 m	3.5	2.8	Parcial	80.00%	0.81

Longitud 2.20 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$dc \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$dc < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305127



CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

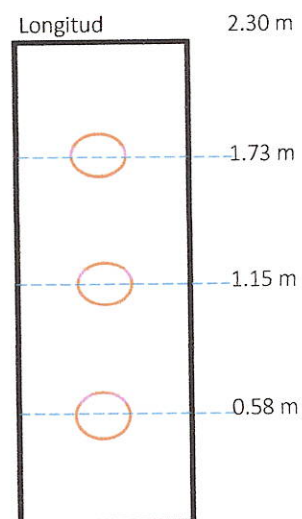
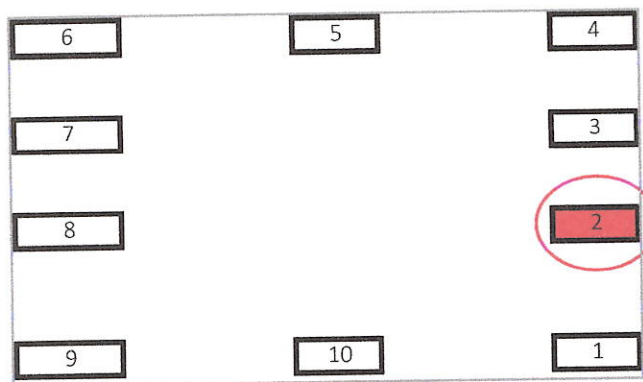
Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	2
Dirección	Av tacabamba 703
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760903
Norte (m)	9274545
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda multifamiliar
Número de pisos	2+azotea
Antigüedad de la edificación	4
Estado de la vivienda	Bueno
Número de columnas	10
Código de columna seleccionada	C-2
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.3
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.3

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna

Bosquejo en elevación



Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por impermeabilización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Robert Campos Muñoz

Vivienda

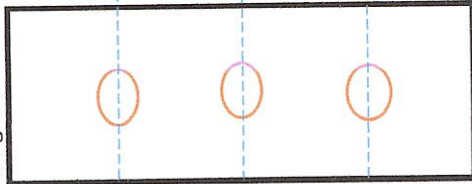
2

Columna

C-2

Longitud

2.30 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



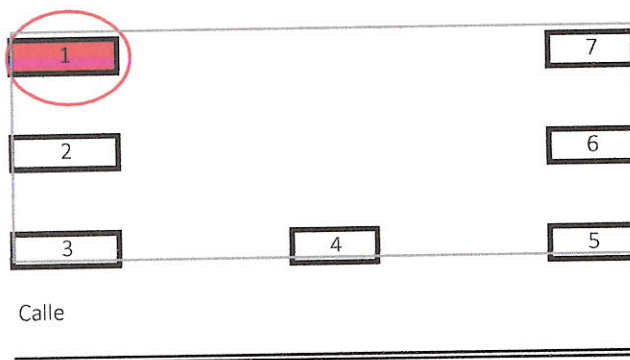
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

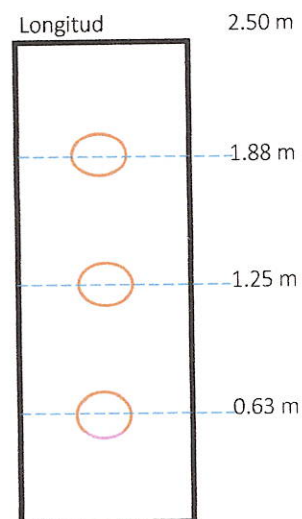
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	3
Dirección	Jr.27 Noviembre N°1068
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760154
Norte (m)	9274554
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	3+azotea
Antigüedad de la edificación	8
Estado de la vivienda	Regular
Número de columnas	7
Código de columna seleccionada	C-1
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.5
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.5

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación



Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas

Yony Yover Campos Muñoz

Vivienda

Ronald Roberth Campos Muñoz

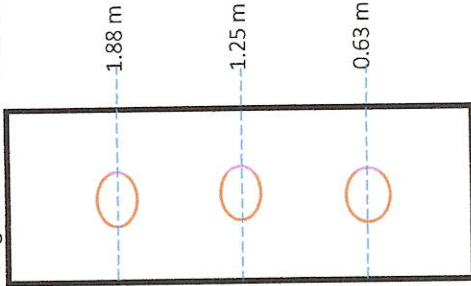
Columna

3

C-1

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
12	1.88 m	3.5	2.2	Parcial	62.86%	0.64
12	1.25 m	3.5	2.2	Parcial	62.86%	0.64
12	0.63 m	3.5	2.2	Parcial	62.86%	0.64

Longitud 2.50 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$dc \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$dc < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

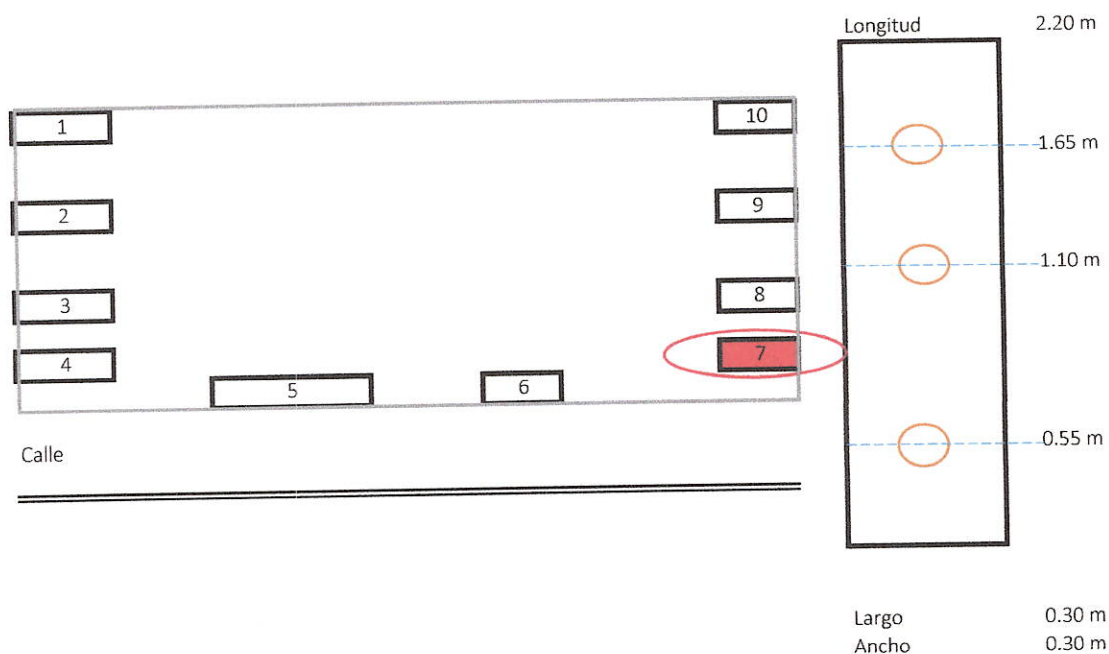
Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	4
Dirección	Av fray jose arana
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	759495
Norte (m)	9273976
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda multifamiliar
Número de pisos	2+azot
Antigüedad de la edificación	7
Estado de la vivienda	Regular
Número de columnas	10
Código de columna seleccionada	C-7
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.2
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.2

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna

Bosquejo en elevación





Universidad Nacional Autónoma de Chota
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Vivienda

4

Ronald Robert Campos Muñoz

Columna

C-7

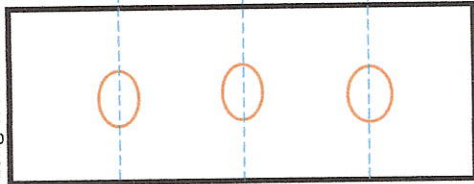
Longitud

2.30 m

1.73 m

1.15 m

0.58 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$



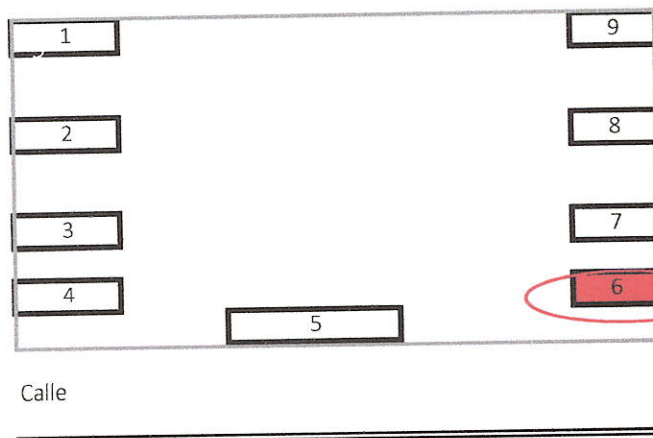
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

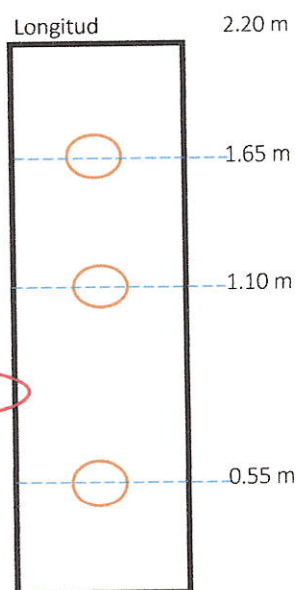
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	5
Dirección	av. Tupac amaru nº402
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760110
Norte (m)	9273697
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	zot +2p+azot
Antigüedad de la edificación	8
Estado de la vivienda	Regular
Número de columnas	9
Código de columna seleccionada	C-6
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.2
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.2

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación



Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

5

Columna

C-6

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
8	1.65 m	3.5	2.5	Parcial	71.43%	0.88
8	1.10 m	3.5	2.4	Parcial	68.57%	0.85
8	0.55 m	3.5	2.5	Parcial	71.43%	0.88

Longitud

2.20 m

1.65 m

1.10 m

0.55 m

Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Criterios:

Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



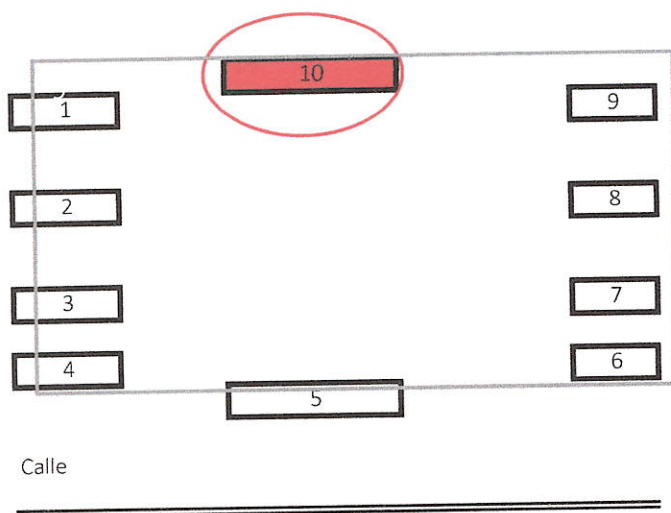
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

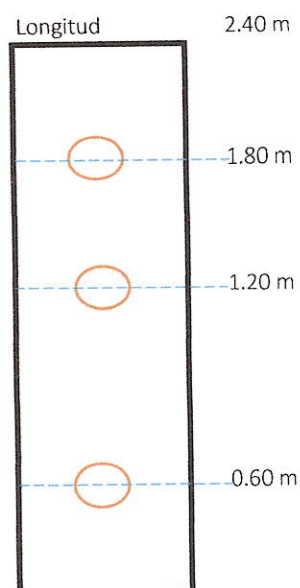
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	6
Dirección	Jr. Adriano Novoa N° 870
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	759536
Norte (m)	9274428
Tipo de edificación	Material noble
Uso	comercio + unifamiliar
Número de pisos	4p+azot
Antigüedad de la edificación	4
Estado de la vivienda	bueno
Número de columnas	10
Código de columna seleccionada	C-10
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.4
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.4

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación



Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Vivienda

6

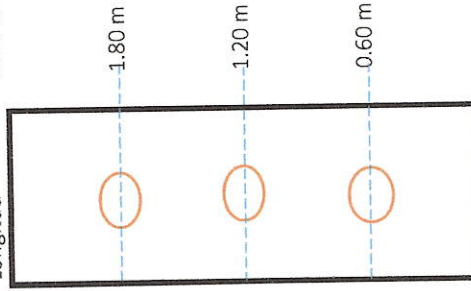
Ronald Roberth Campos Muñoz

Columna

C-10

Longitud

2.40 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



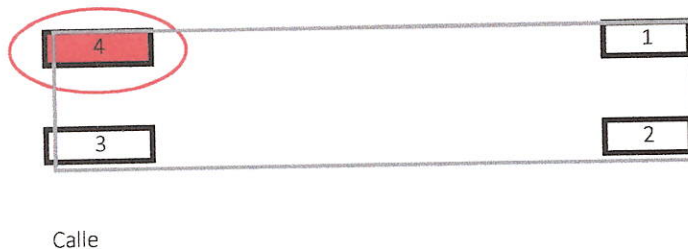
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

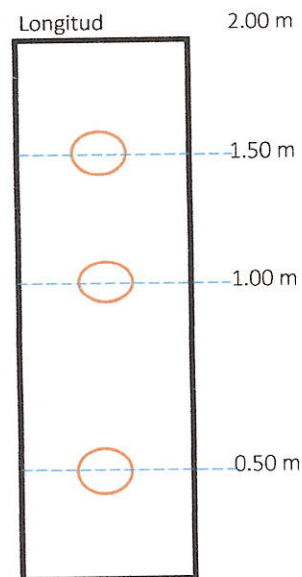
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	7
Dirección	prolongacion anax. Vega
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	759444
Norte (m)	9273516
Tipo de edificación	Material noble
Uso	vivienda unifamiliar
Número de pisos	3p+azot
Antigüedad de la edificación	20
Estado de la vivienda	Regular
Número de columnas	4
Código de columna seleccionada	C-4
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación





ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Tesistas

Vivienda

Columna

Análisis de la carbonatación por interpenetración según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

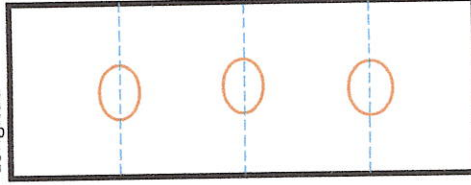
Ronald Roberth Campos Muñoz

7

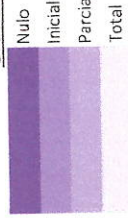
C-4

Longitud

2.00 m



Grado de carbonatación



Concreto no carbonatado
Inicios de carbonatación
En proceso de carbonatación
Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

Largo 0.30 m

Ancho 0.30 m

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAQUETOS
Reg. CIP N° 305737



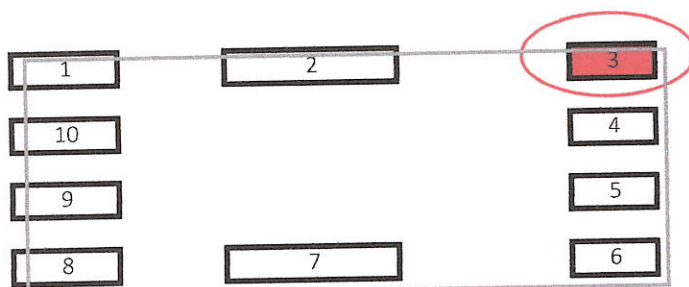
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

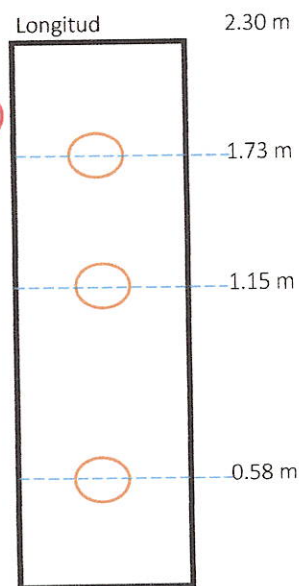
Vivienda	8
Dirección	av. Inca garcilaso de la vega
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	758460
Norte (m)	9274893
Tipo de edificación	Material noble
Uso	vivienda multifamiliar
Número de pisos	2+azot
Antigüedad de la edificación	15
Estado de la vivienda	Regular
Número de columnas	10
Código de columna seleccionada	C-3
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.3
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.3

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Calle

Bosquejo en elevación



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS E.I.R.L.

Ing. Eimer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737

Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

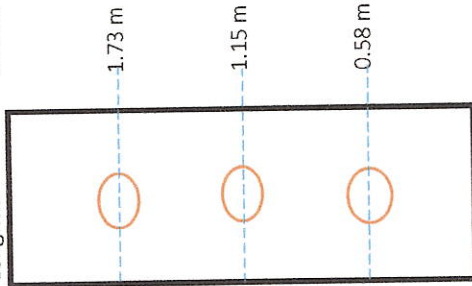
8

Columna

C-3

Longitud

2.30 m



Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
15	1.73 m	3.5	2.92	Parcial	83.43%	0.75
15	1.15 m	3.5	2.9	Parcial	82.86%	0.75
15	0.58 m	3.5	2.88	Parcial	82.29%	0.74

Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y FUNDAMENTOS
Reg. CIP N° 305737



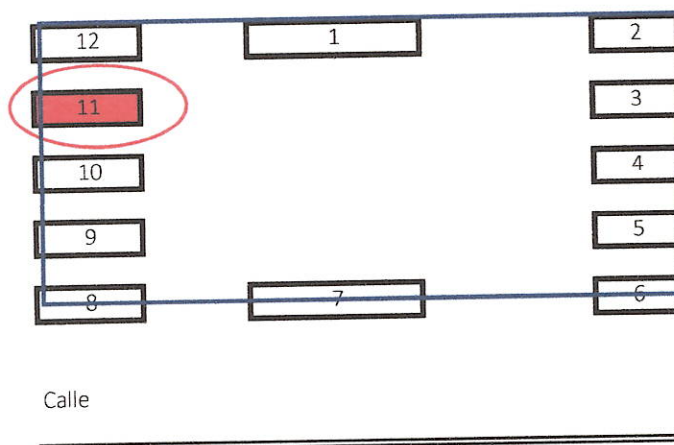
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

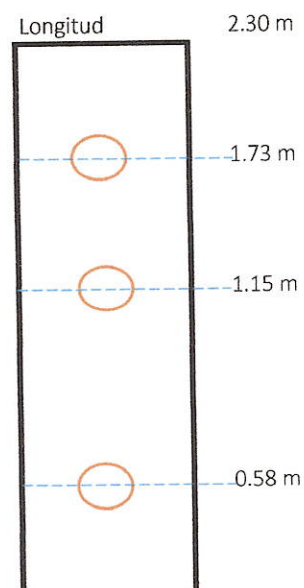
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	9
Dirección	Jr. Edelmira Silva Nº 663
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760228
Norte (m)	9274296
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Comercio + multifamiliar
Número de pisos	7+azot
Antigüedad de la edificación	10
Estado de la vivienda	buena
Número de columnas	12
Código de columna seleccionada	C-11
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.3
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.3

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación



Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



EMPRESA DE INGENIERÍA CONSULTAS MEJÍA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA, SUELOS Y PAVIMENTOS
"ESPECIALISTA EN GEOLOGÍA" N° 3095737



ENSAJO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por interperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

9

Columna

C-11

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
10	1.73 m	2.5	1.7	Parcial	68.00%	0.54
10	1.15 m	2.5	1.7	Parcial	68.00%	0.54
10	0.58 m	2.5	1.72	Parcial	68.80%	0.54

Longitud

2.30 m

1.73 m

1.15 m

0.58 m

Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



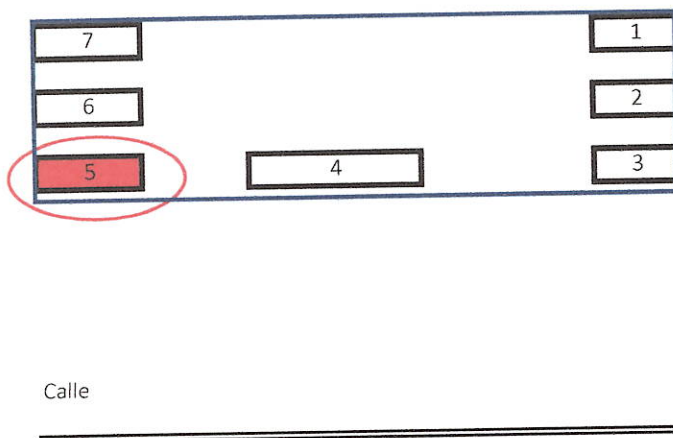
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

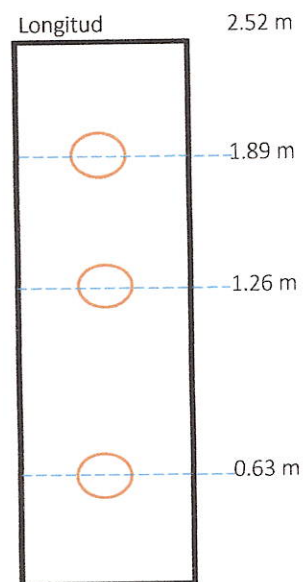
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	10
Dirección	Jr. Gregorio Malca Nº 401
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	758558
Norte (m)	9274645
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	1+azot
Antigüedad de la edificación	12
Estado de la vivienda	regular
Número de columnas	7
Código de columna seleccionada	C-5
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.52
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.52

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación





ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Vivienda

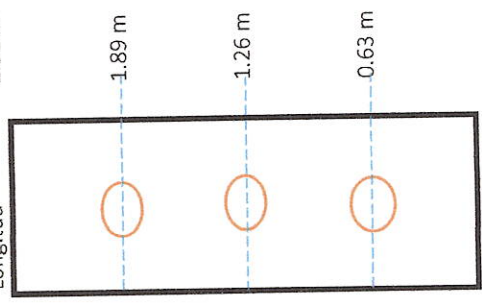
10

Columna

C-5

Longitud

2.52 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



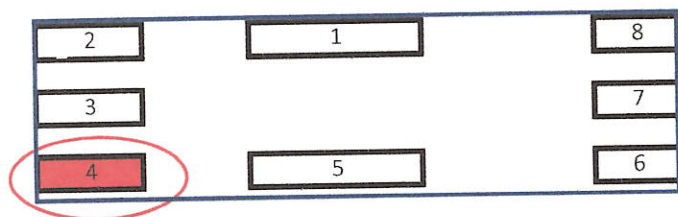
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

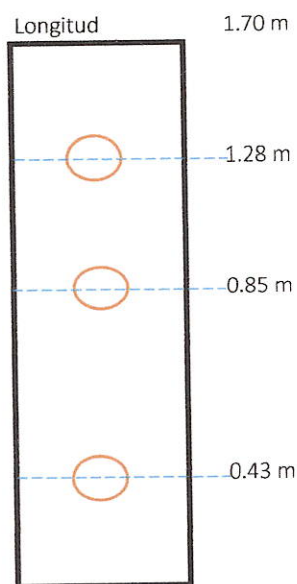
Vivienda	11
Dirección	Jr. 27 noviembre N° 995
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760109
Norte (m)	9274495
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	zot +2p+azot
Antigüedad de la edificación	5
Estado de la vivienda	buena
Número de columnas	8
Código de columna seleccionada	C-4
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	1.7
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	1.7

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Calle

Bosquejo en elevación



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.
Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737

Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por interperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

11

Columna

C-4

Longitud

1.70 m

1.28 m

0.85 m

0.43 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

0.30 m

Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$dc \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$dc < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Criterios:

$IR < 0.75 \Rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \Rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \Rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación



CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

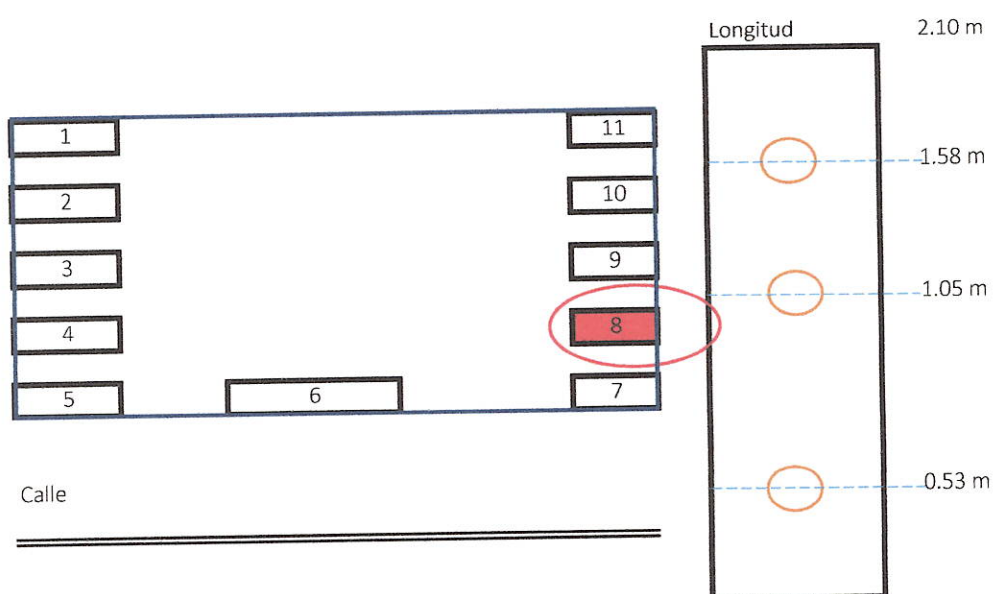
Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Robert Campos Muñoz

Vivienda	12
Dirección	Jr. Rinconada. Colpamayo N°549
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760447
Norte (m)	9273765
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	5p+azot
Antigüedad de la edificación	8
Estado de la vivienda	buena
Número de columnas	11
Código de columna seleccionada	C-8
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.1
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.1

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna

Bosquejo en elevación





Universidad Nacional Autónoma de Chota
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz

Vivienda

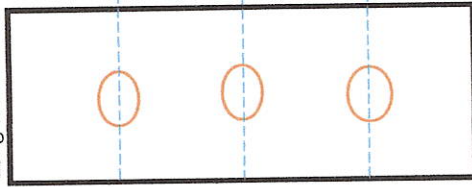
12

Columna

C-8

Longitud

2.10 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737



CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

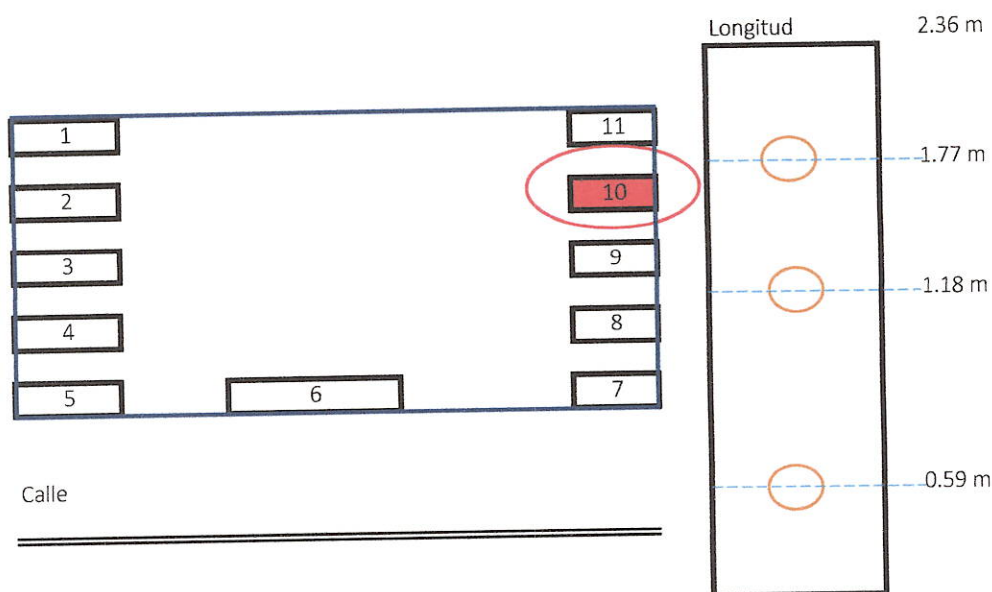
Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	13
Dirección	pje. Feliberto rojas 130
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	759761.04
Norte (m)	9273674.09
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	2p+azot
Antigüedad de la edificación	8
Estado de la vivienda	buena
Número de columnas	11
Código de columna seleccionada	C-10
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.36
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.36

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna

Bosquejo en elevación



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAB MEJA E.I.R.L

Ing. Elmer Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
Reg. CIP N° 305737

Largo 0.30 m
Ancho 0.30 m



ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Tesistas

Vivienda

Columna

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Yony Yover Campos Muñoz

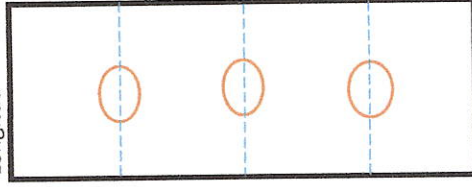
Ronald Robert Campos Muñoz

13

C-10

Longitud

2.36 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

R = profundidad carbonatada medida

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$dc \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$dc < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



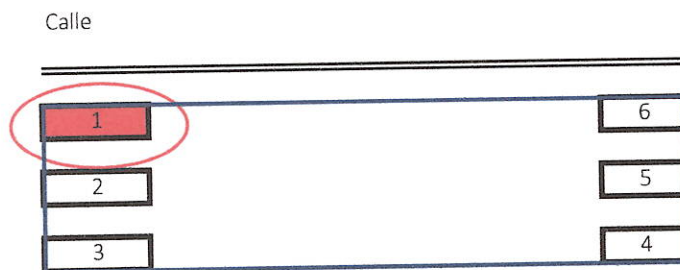
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

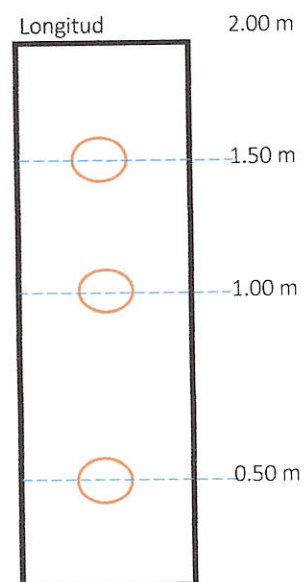
Tesistas Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda	14
Dirección	Jr. Eriverto Rivera N° 155
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	759912
Norte (m)	9273557
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	2p+azot
Antigüedad de la edificación	40
Estado de la vivienda	regular
Número de columnas	6
Código de columna seleccionada	C-1
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación





ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Testistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

14

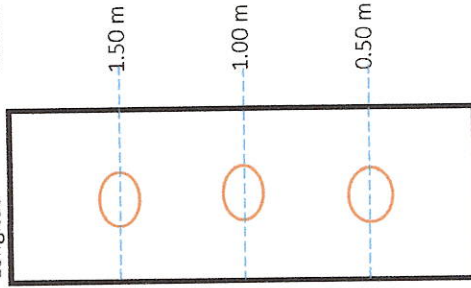
Columna

C-1

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
40	1.50 m	1	1.8	Parcial	180.00%	0.28
40	1.00 m	1	1.5	Parcial	150.00%	0.24
40	0.50 m	1	2	Parcial	200.00%	0.32

Longitud

2.00 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



EMPRESA DE INGENIERIA CONSULTAS MEJIA E.I.R.L.

Ing. Javier Guevara Mejía
ESPECIALISTA EN GEOLOGIA, SUELOS Y PAVIMENTOS
R.M. CIP N° 305737



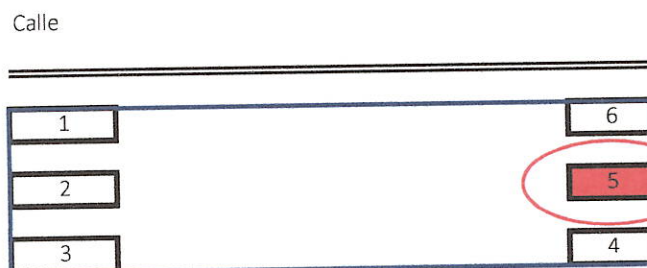
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

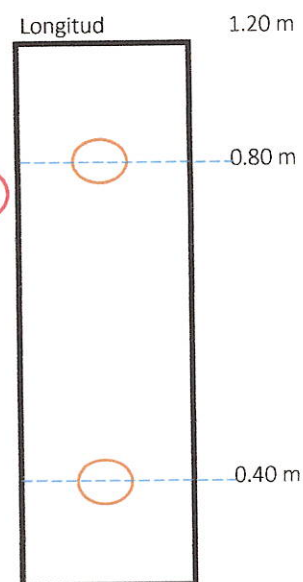
Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Robert Campos Muñoz

Vivienda	15
Dirección	Pje. Avelardo Diazq N°63
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	759129
Norte (m)	9274557
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	3p+azot
Antigüedad de la edificación	12
Estado de la vivienda	buena
Número de columnas	6
Código de columna seleccionada	C-5
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	1.2
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	1.2

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna



Bosquejo en elevación





ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por interpenetración según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

15

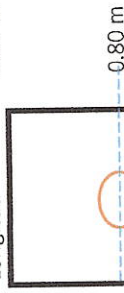
Columna

C-5

Antigüedad de la edificación (años)	Altura	Profundidad de recubrimiento (cm)	Profundidad de carbonatación (cm)	Grado de carbonatación	Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento	Velocidad de carbonatación (cm/año)
12	0.80 m	3	2.4	Parcial	80.00%	0.69
12	0.40 m	3	2.43	Parcial	81.00%	0.70

Longitud

1.20 m



0.80 m

0.40 m

Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido



CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA, COLUMNA Y PROBETA

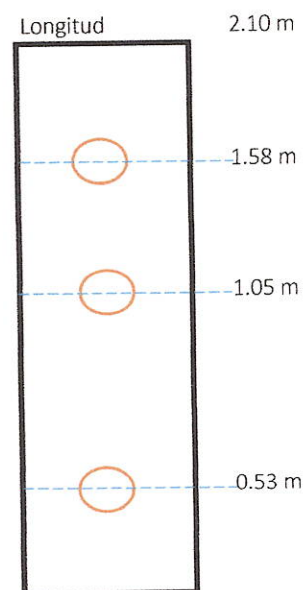
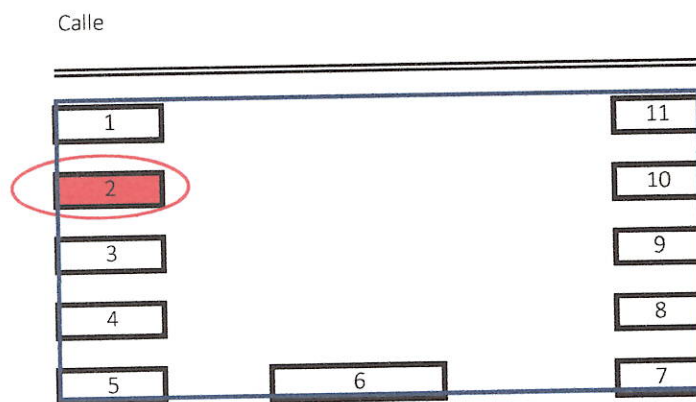
Tesis: Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Robert Campos Muñoz

Vivienda	16
Dirección	Av. Todos los Santos N° 224
Coordenadas UTM WGS84 17S	
Este (m)	760601
Norte (m)	9274287
Tipo de edificación	Material noble
Uso	Vivienda unifamiliar
Número de pisos	5p+azot
Antigüedad de la edificación	17
Estado de la vivienda	regular
Número de columnas	11
Código de columna seleccionada	C-2
Largo (m)	0.3
Ancho (m)	0.3
Alto (m)	2.10 m
Número de probetas	3
Largo probeta (cm)	4
Diámetro probeta (cm)	3.5
Altura expuesta (m)	2.1

Bosquejo de ubicación de extracción respecto a la columna

Bosquejo en elevación





Universidad Nacional Autónoma de Chota
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

ENSAYO DE CARBONATACIÓN EN COLUMNAS

Tesis

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Tesistas

Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Vivienda

16

Columna

C-2

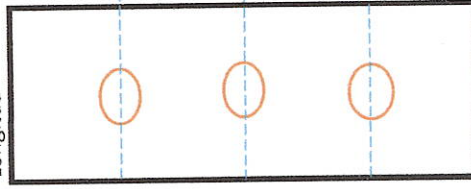
Longitud

2.10 m

1.58 m

1.05 m

0.53 m



Grado de carbonatación

Nulo	Concreto no carbonatado
Inicial	Inicios de carbonatación
Parcial	En proceso de carbonatación
Total	Concreto carbonatado

Profundidad de carbonatación

$$d_c = L_c$$

Índice de riesgo de carbonatación

$$IR = \frac{d_c}{R}$$

Donde:

L_c = longitud carbonatada medida dentro del orificio (cm)

$\%C_{rec}$ = porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

d_c = profundidad carbonatada medida

R = recubrimiento real (cm), medido según la columna

k = coeficiente de velocidad de carbonatación (cm/año)

t = edad estructural (años)

Velocidad de carbonatación

$$k = \frac{d_c}{\sqrt{t}}$$

Porcentaje de carbonatación respecto al recubrimiento

$$\%C_{rec} = \left(\frac{d_c}{R} \right) \times 100$$

Largo

0.30 m

Ancho

0.30 m

Criterios:

$IR < 0.75 \rightarrow$ Riesgo bajo

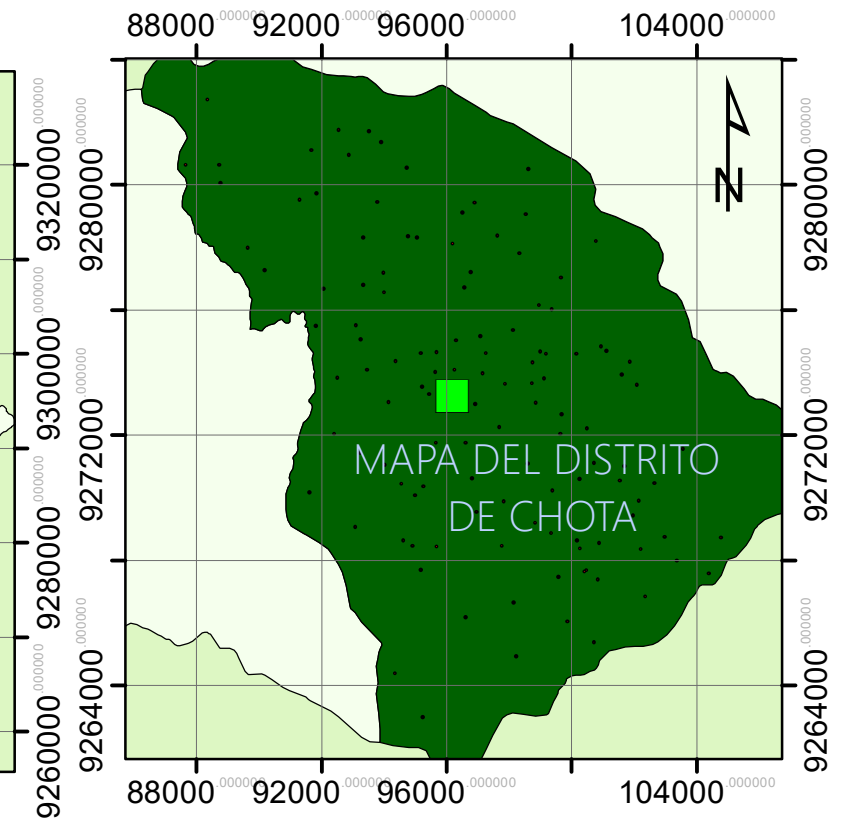
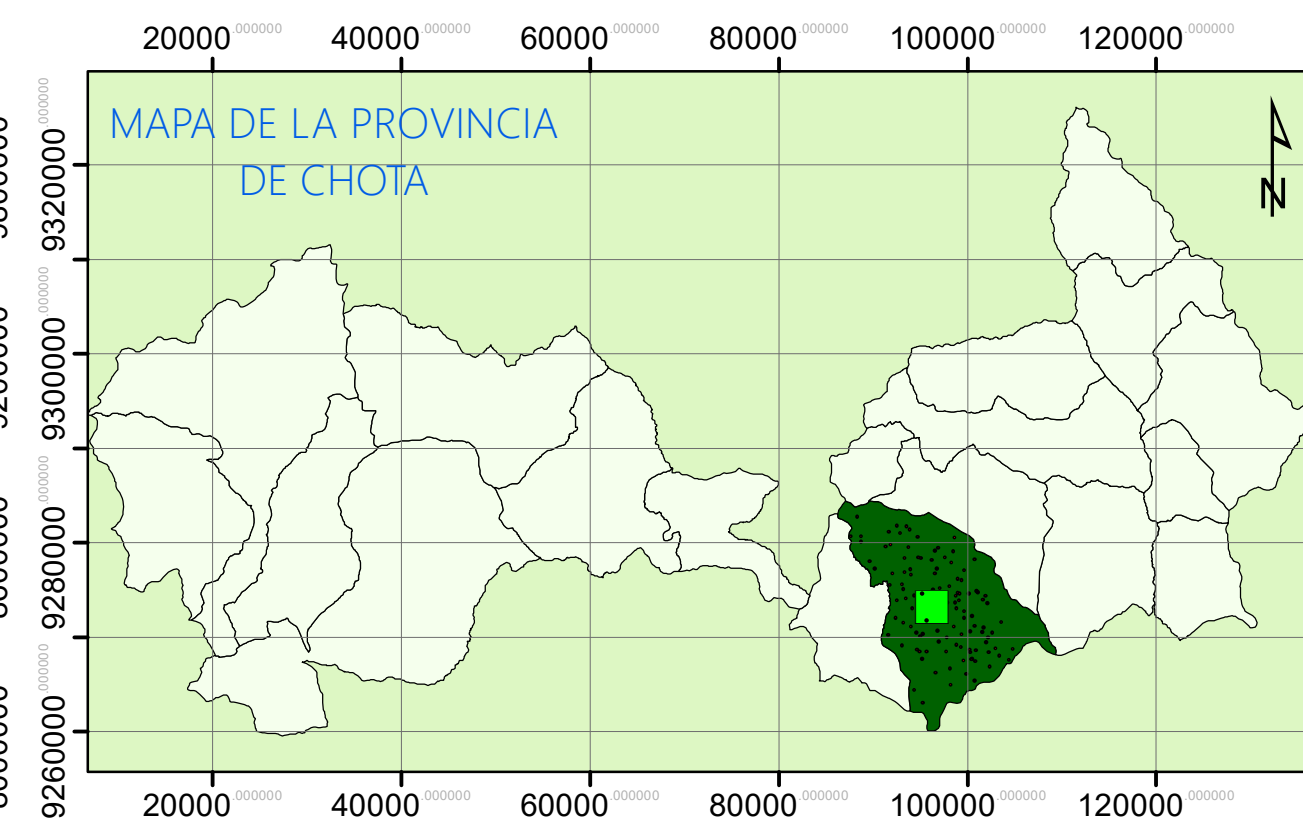
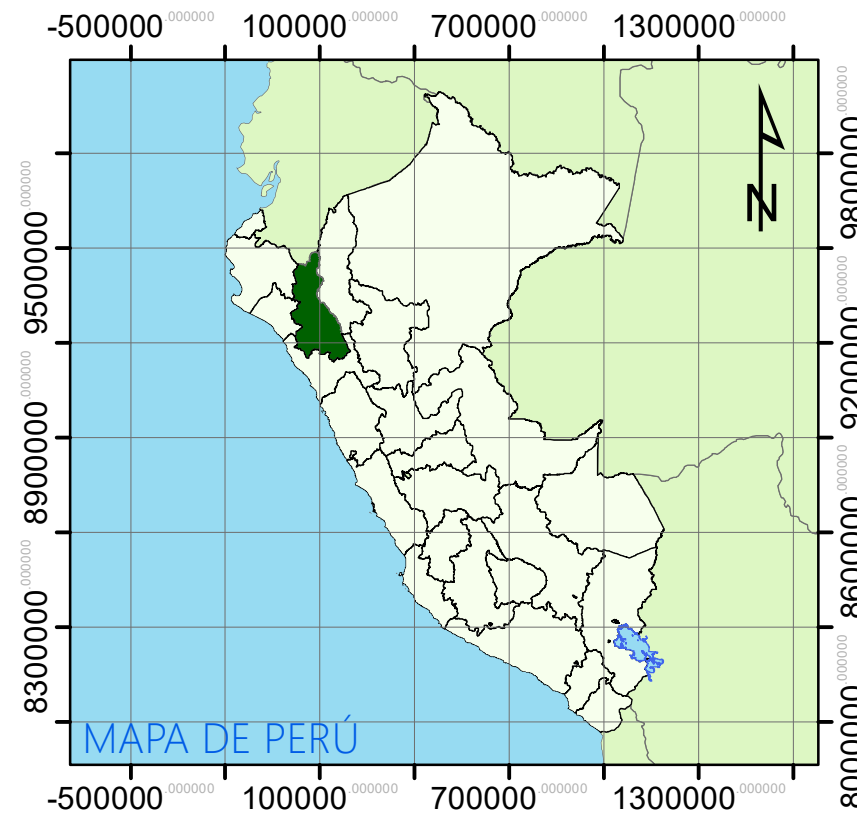
$0.75 \leq IR < 1.00 \rightarrow$ Riesgo moderado

$IR \geq 1.00 \rightarrow$ Riesgo alto, acero expuesto a carbonatación

$d_c \geq R \Rightarrow$ Carbonatación alcanzó el acero

$d_c < R \Rightarrow$ El acero aún está protegido

Anexo 8. Planos



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de la carbonatación por intemperización según espesor de recubrimiento de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota

Presentado por: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

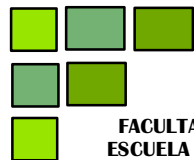
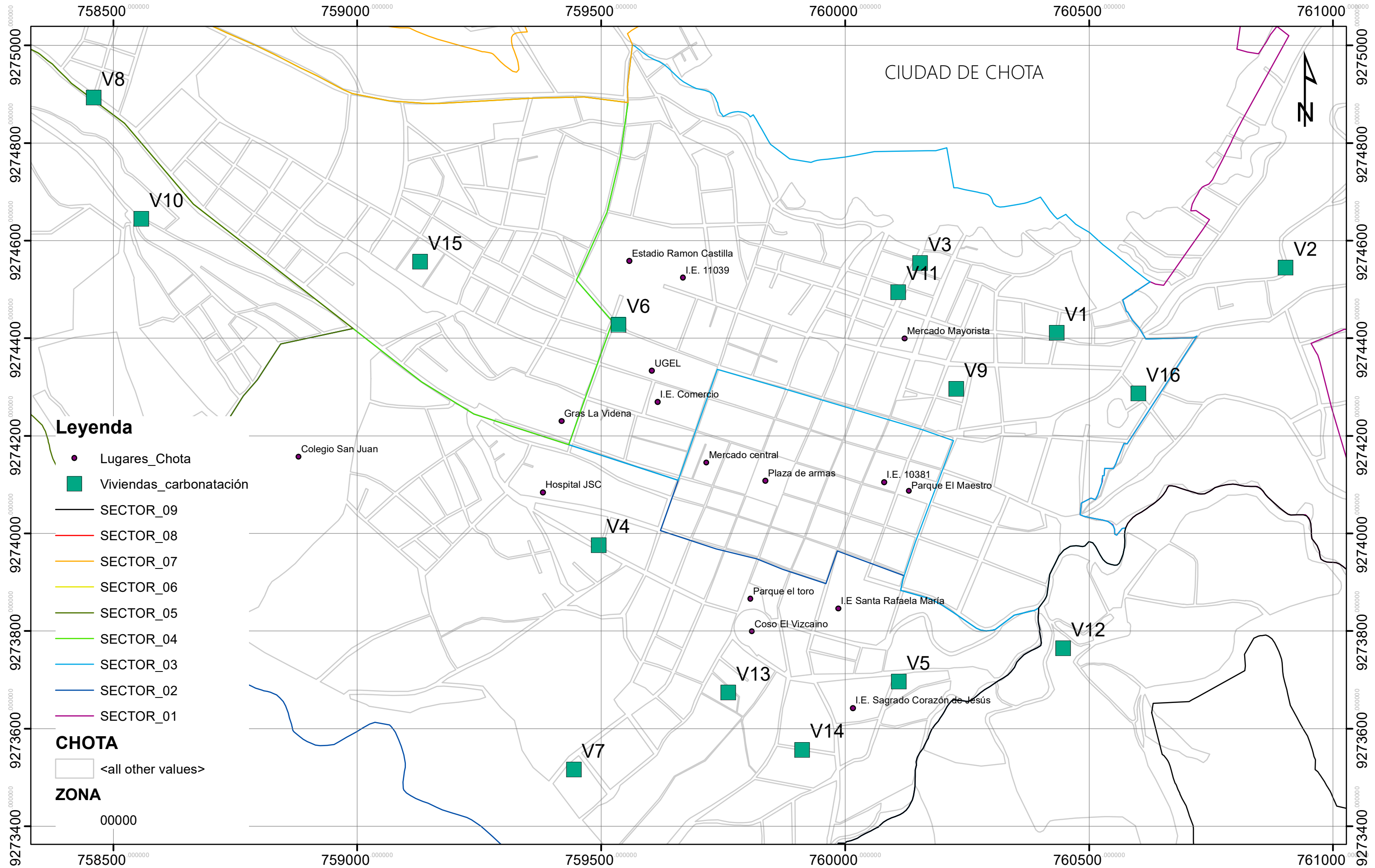
Asesor:
Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León

Plano: **PLANO DE UBICACIÓN DE LA CIUDAD DE CHOTA**

Fecha: Octubre, 2025
Escala: 1:3,112,525

0 15 30 60 90 120 km

Mapa:
U-1



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis de la carbonatación por imtemperización según espesor de recubrimiento
de las columnas de concreto armado en las viviendas de la ciudad de Chota**

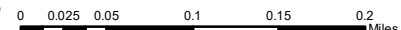
Presentado por: Yony Yover Campos Muñoz
Ronald Roberth Campos Muñoz

Asesor:
Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León

Plano:

**PLANO DE UBICACIÓN DE LA
CIUDAD DE CHOTA**

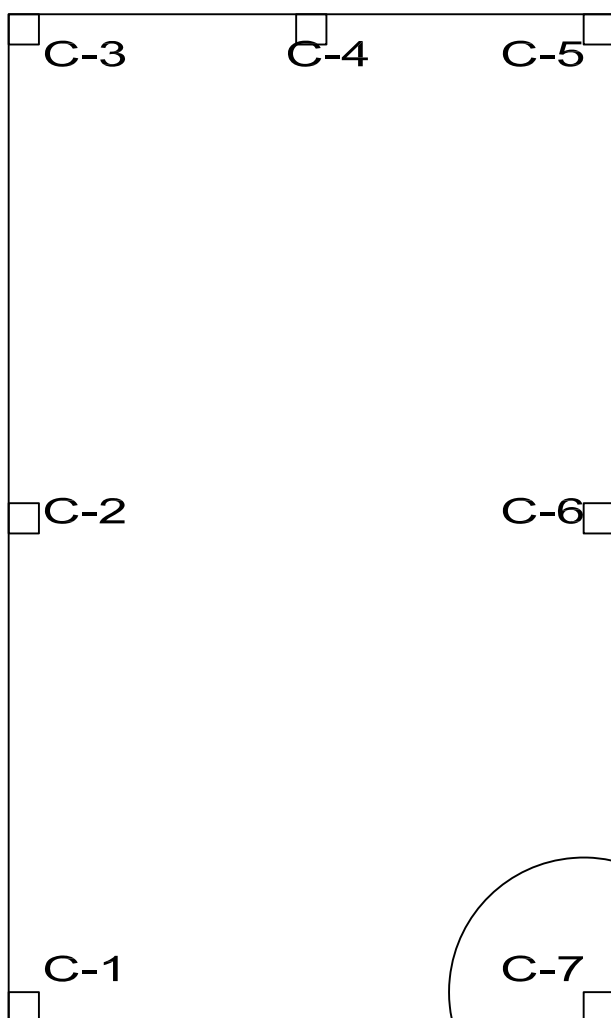
Fecha: Octubre, 2025
Escala:



Mapa:

U-1

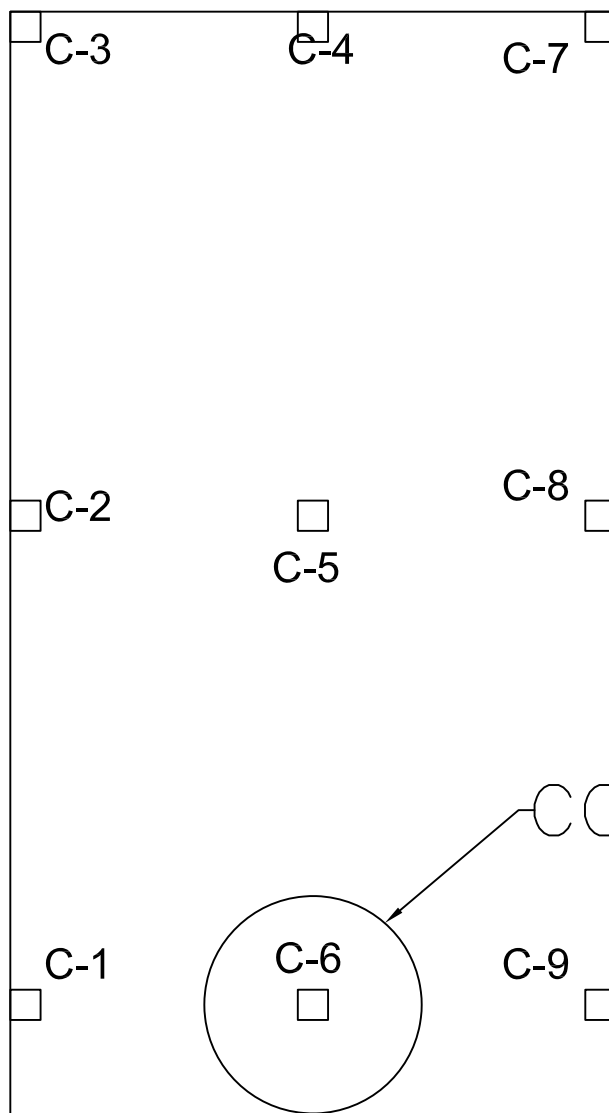
V-1



COL. ESTUDIO

JR. JUAN RAMIREZ

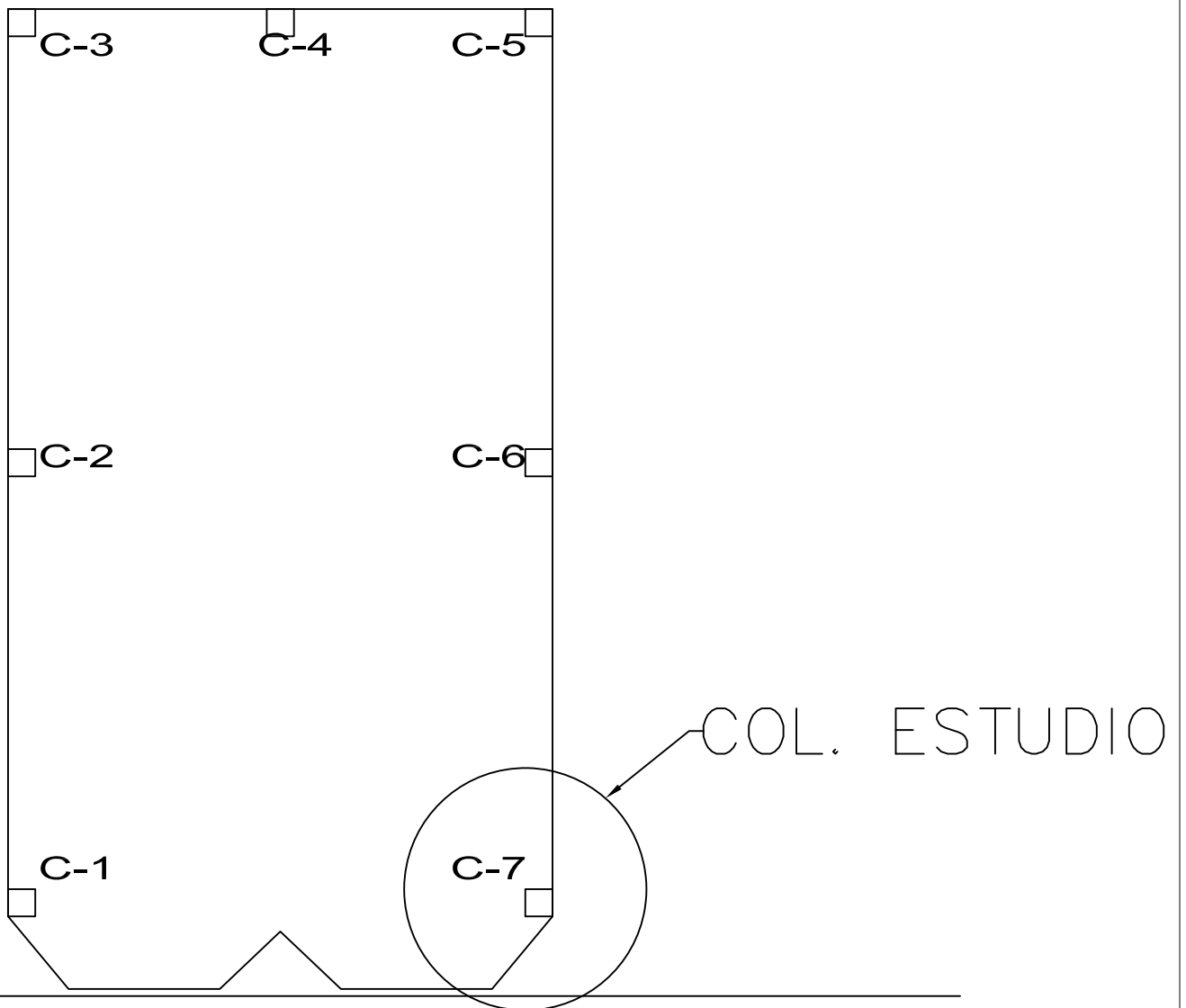
V-2



COL. ESTUDIO

AV. TACABAMBA

V-3



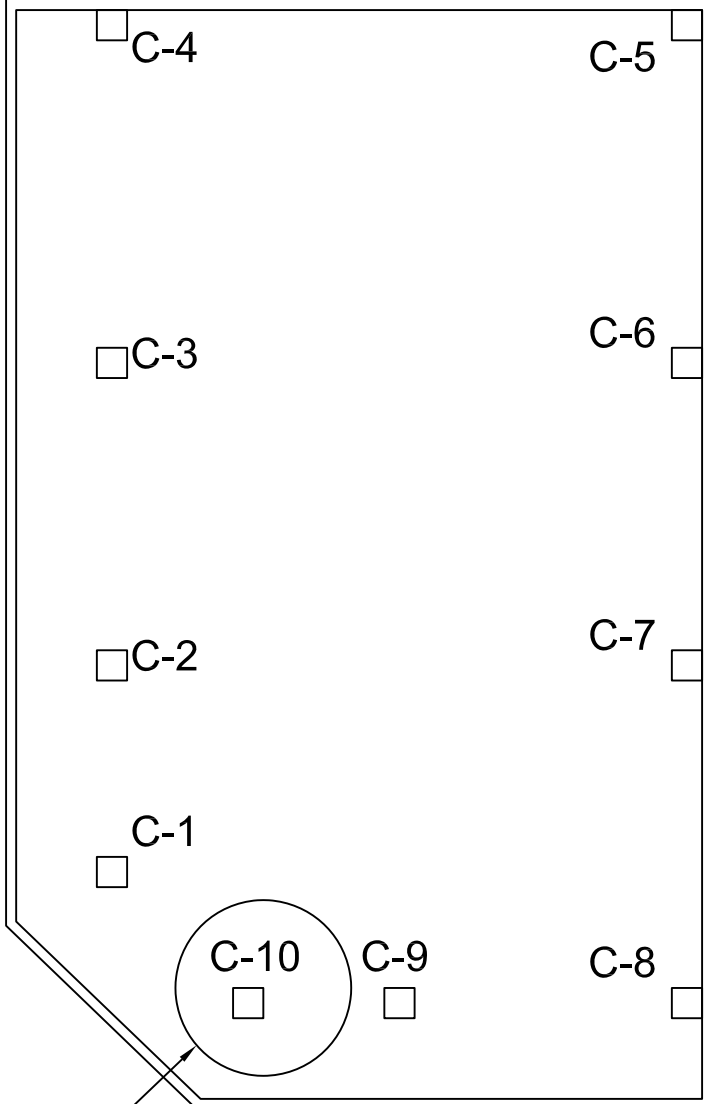
JR. 27 DE NOVIEMBRE

V-4

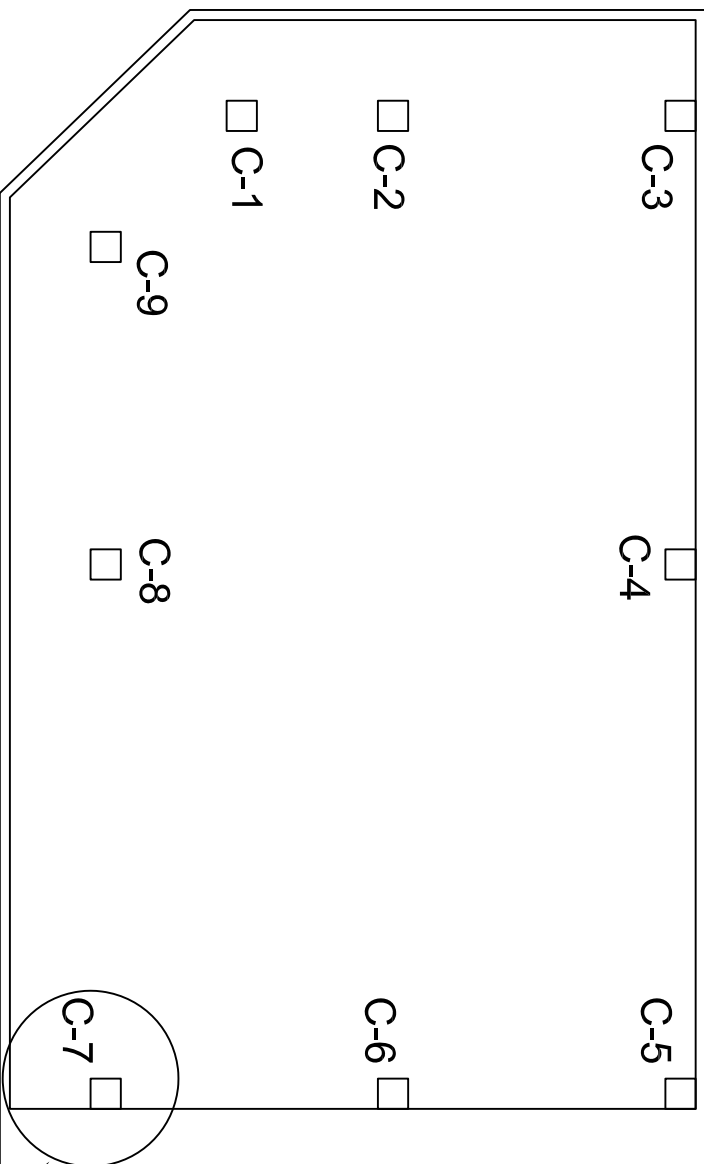
AV. FRAY JOSE ARANA

COL. ESTUDIO

JR. RAMIRES



V-5



JR. ATAHUALPA

JR. EDELMIRA SILVA

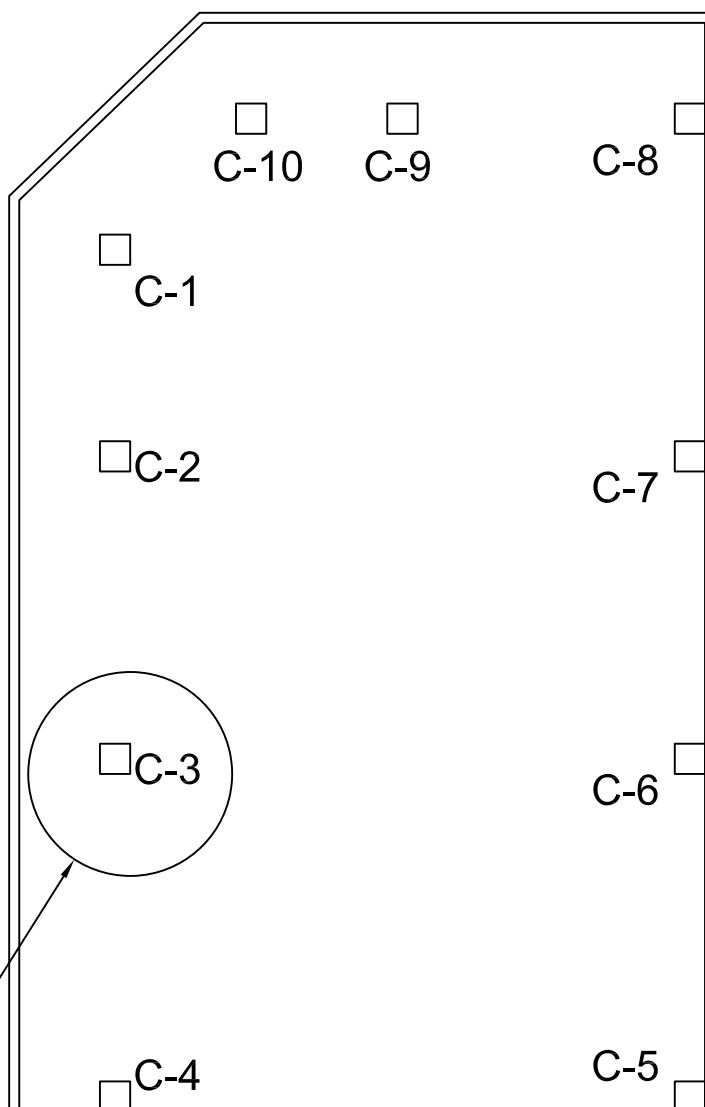
COL. ESTUDIO

V-6

JR. FRANCISCO CADENILLAS

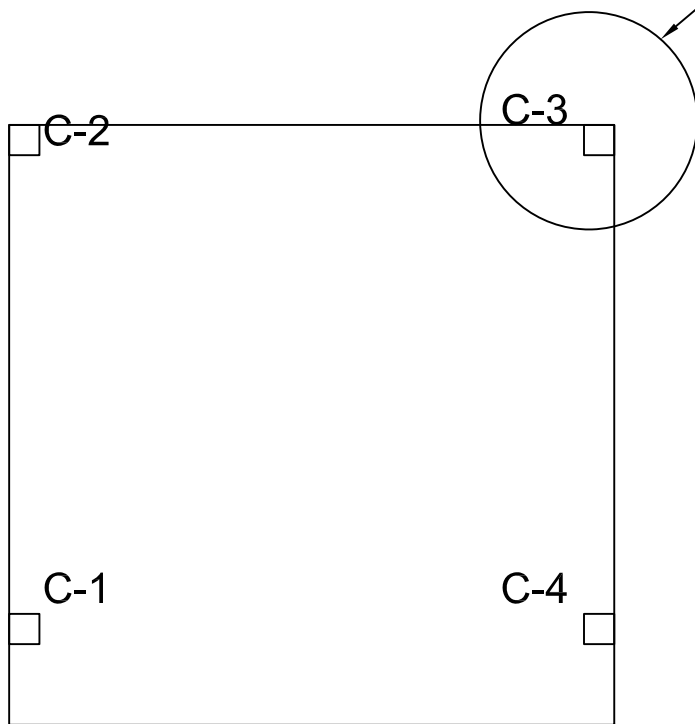
JR. ADRIANO NOVOA

COL. ESTUDIO



V-7

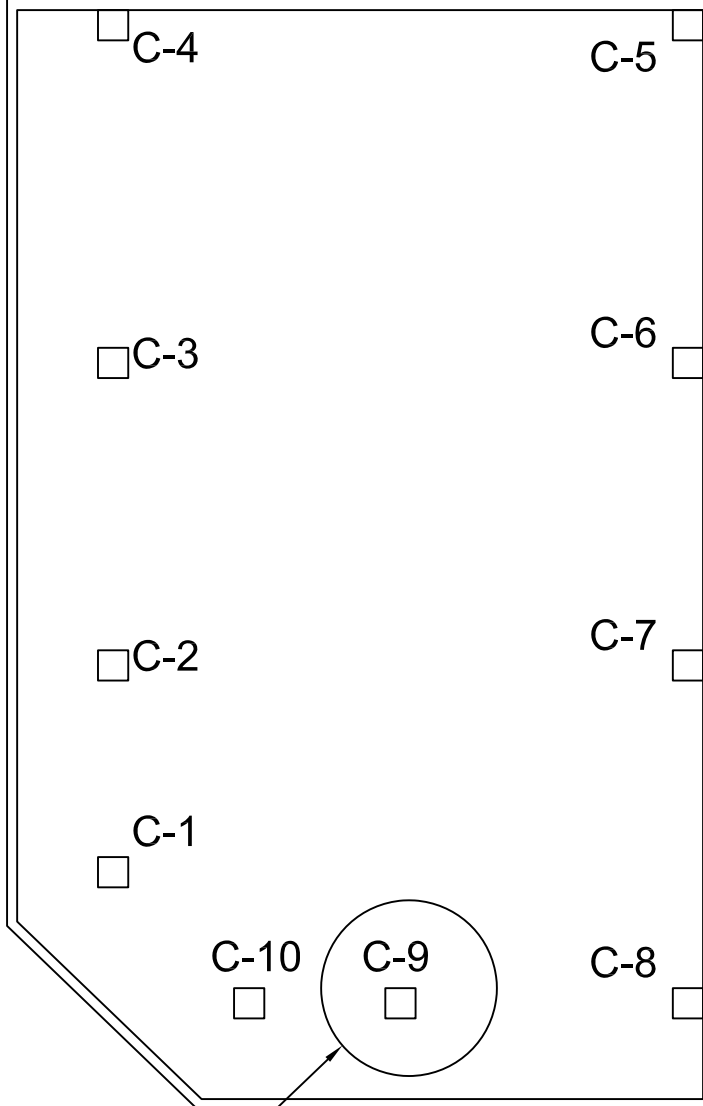
COL. ESTUDIO



JR. PROLONG. ANAXIMANDRO VEGA

V-8

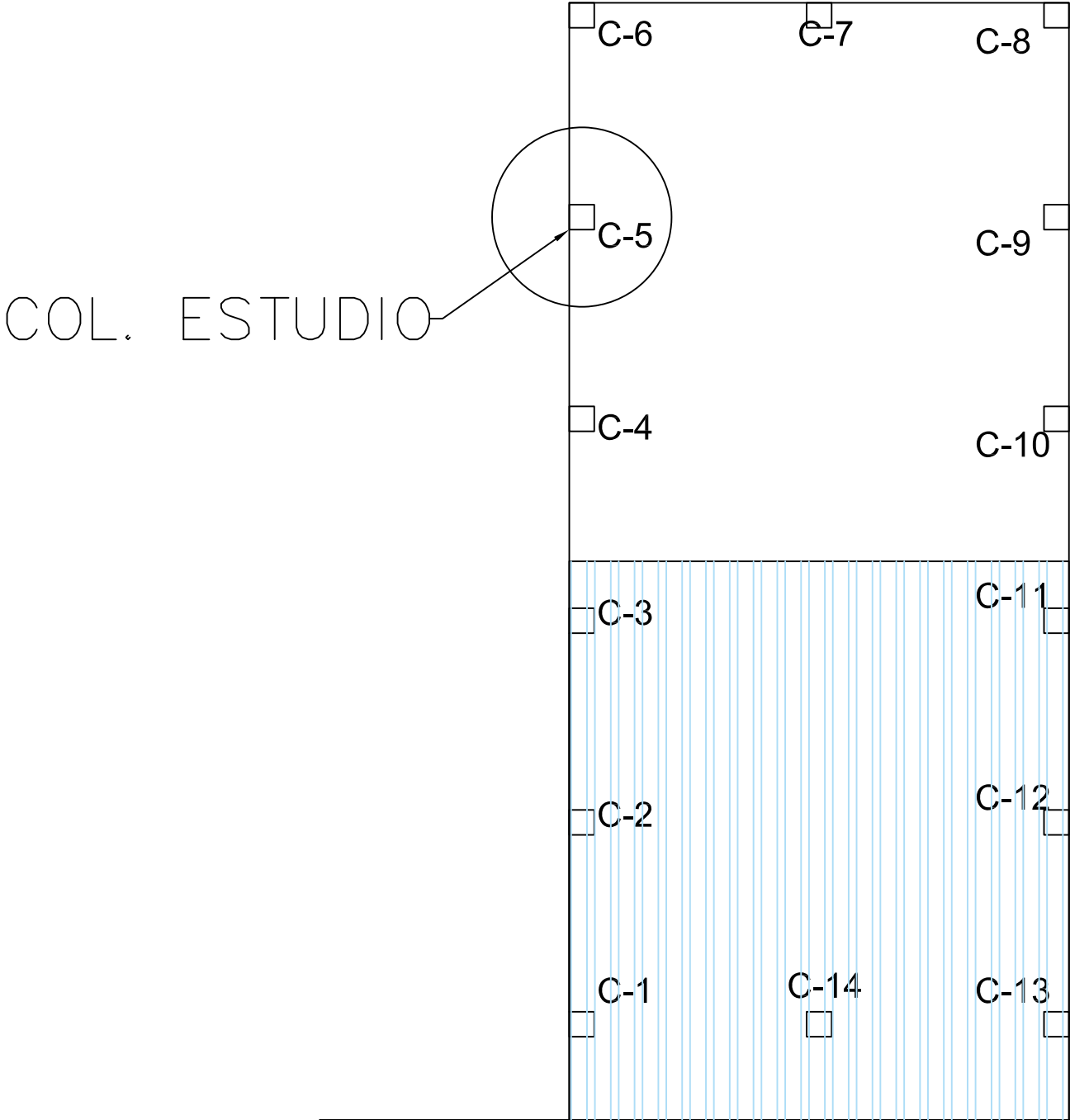
AV. INCA GARCILAZO DE LA VEGA



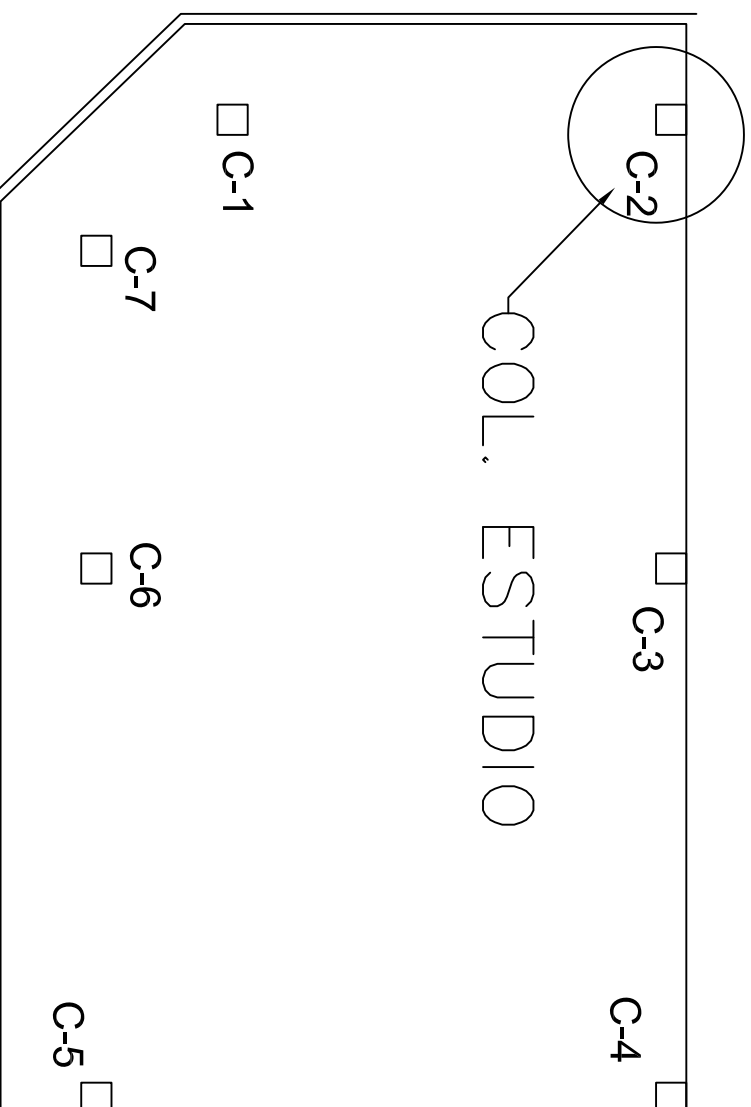
COL. ESTUDIO

PASAJE

V-9

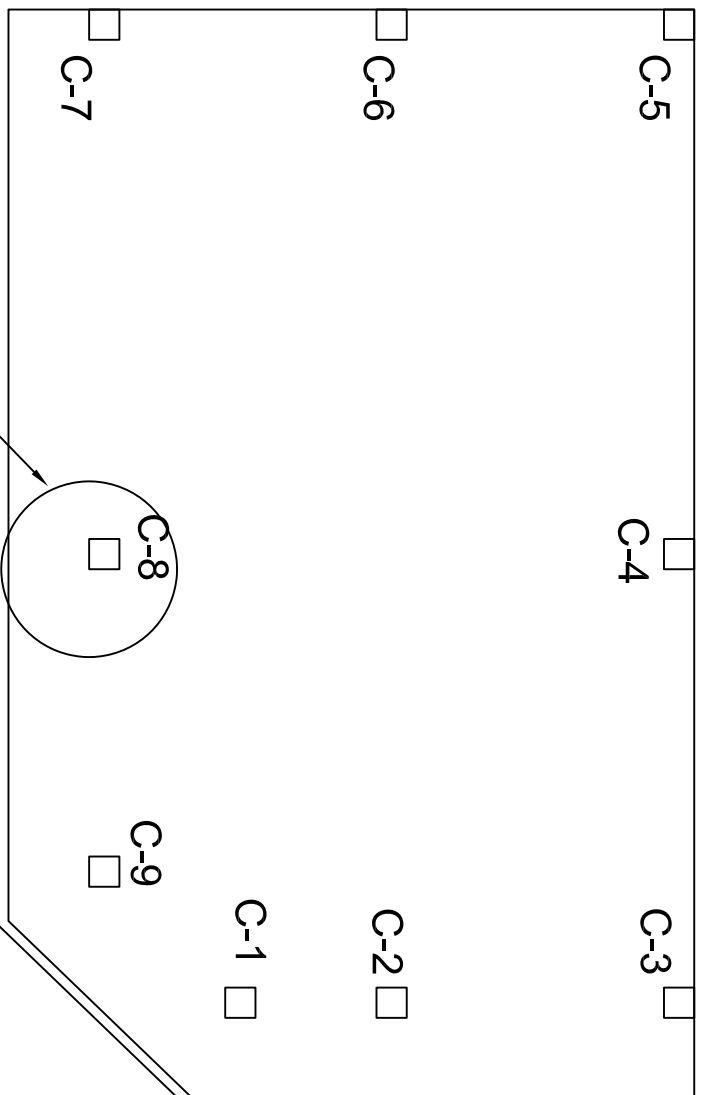


V-10



JR. GREGORIO MALCA

V-11

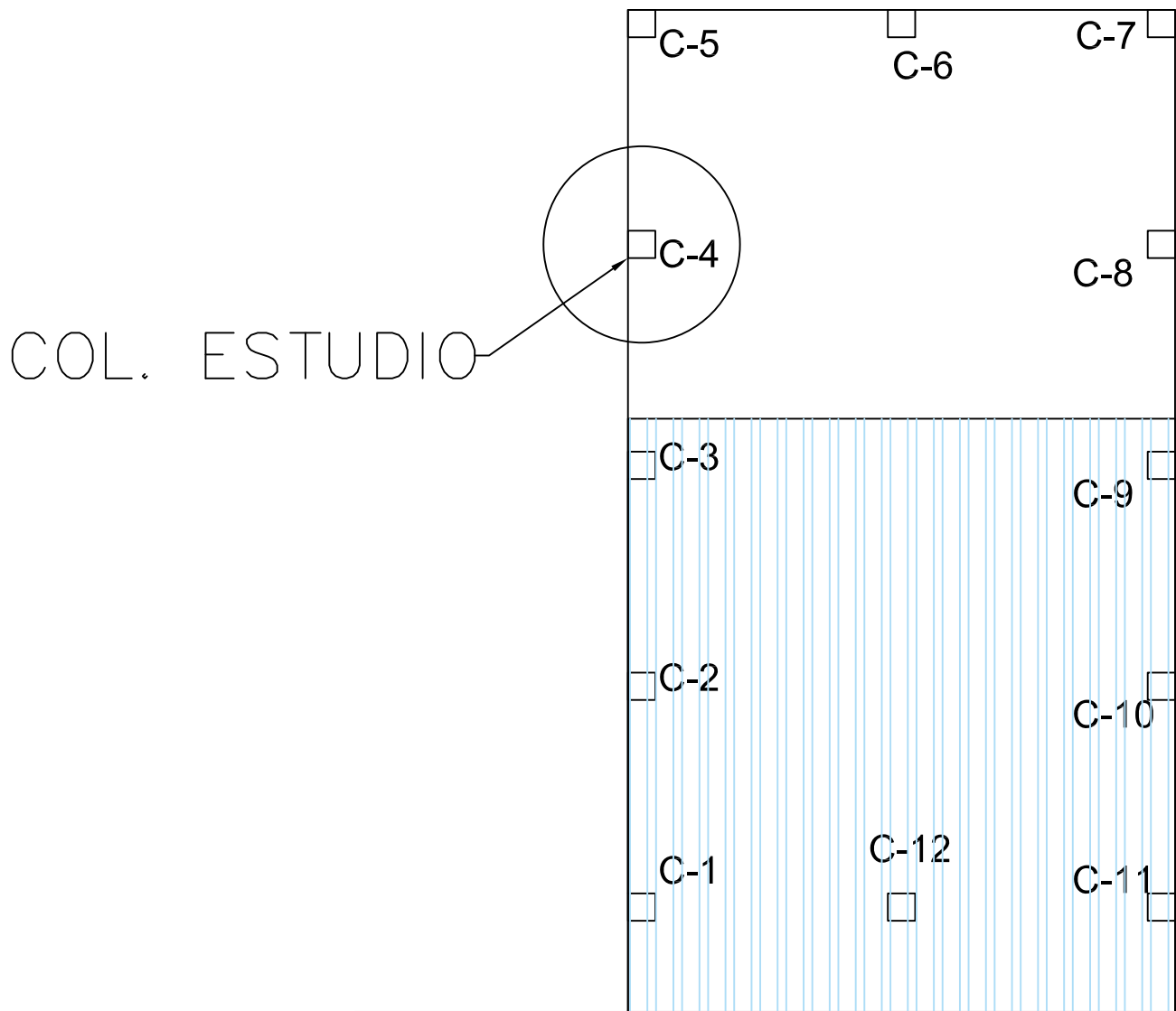


COL. ESTUDIO

JR. 27 NOVIEMBRE

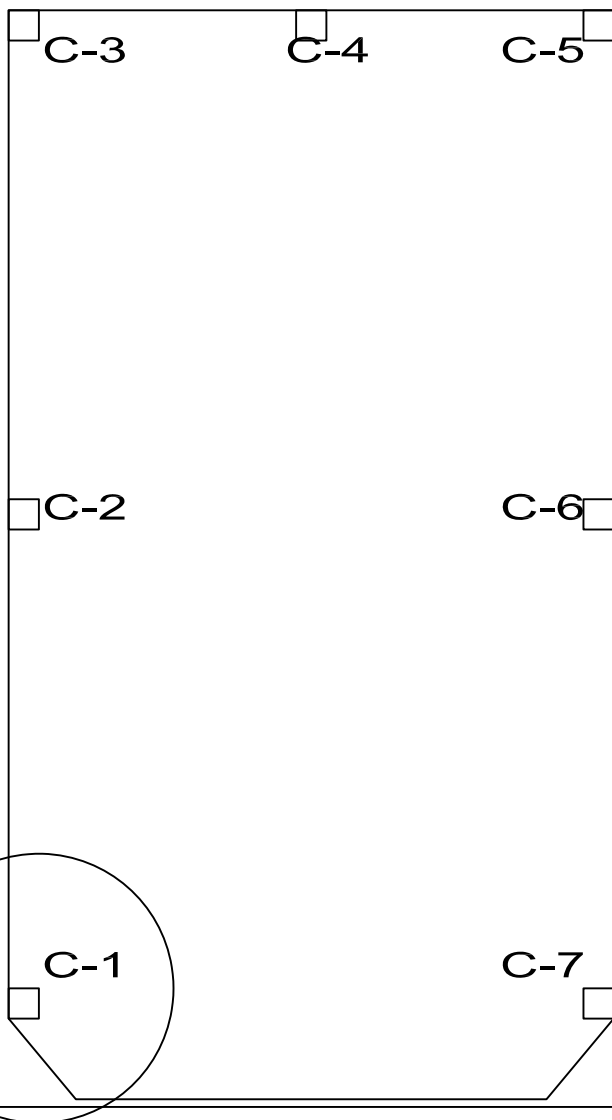
JR. CONSANCHILLON

V-12



JR. RINCONADA COLPAMAYO

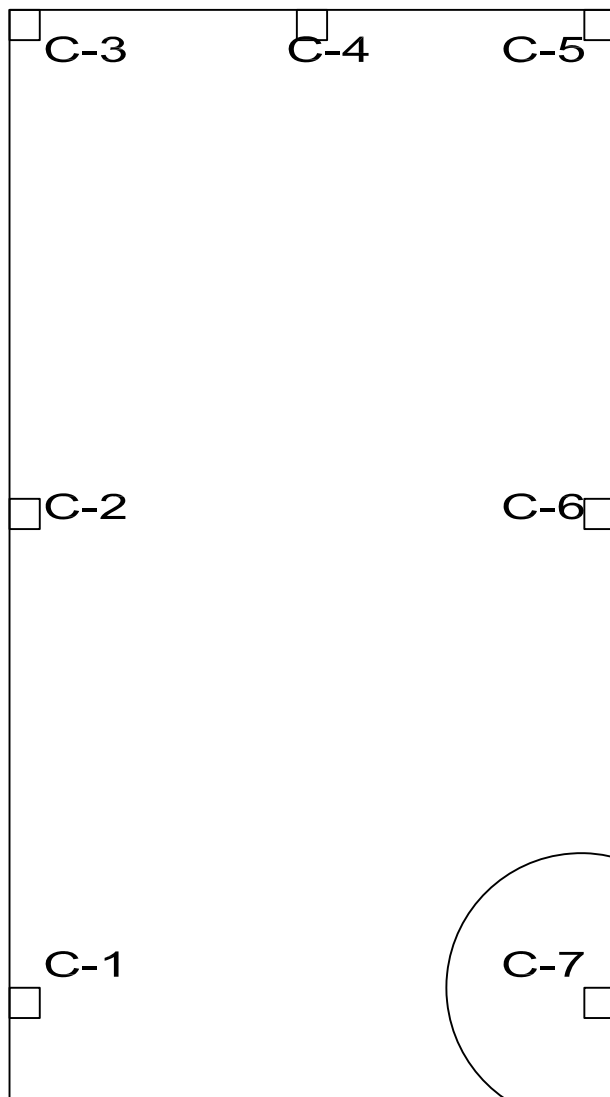
V-13



COL. ESTUDIO

JR. FELIBERTO ROJAS

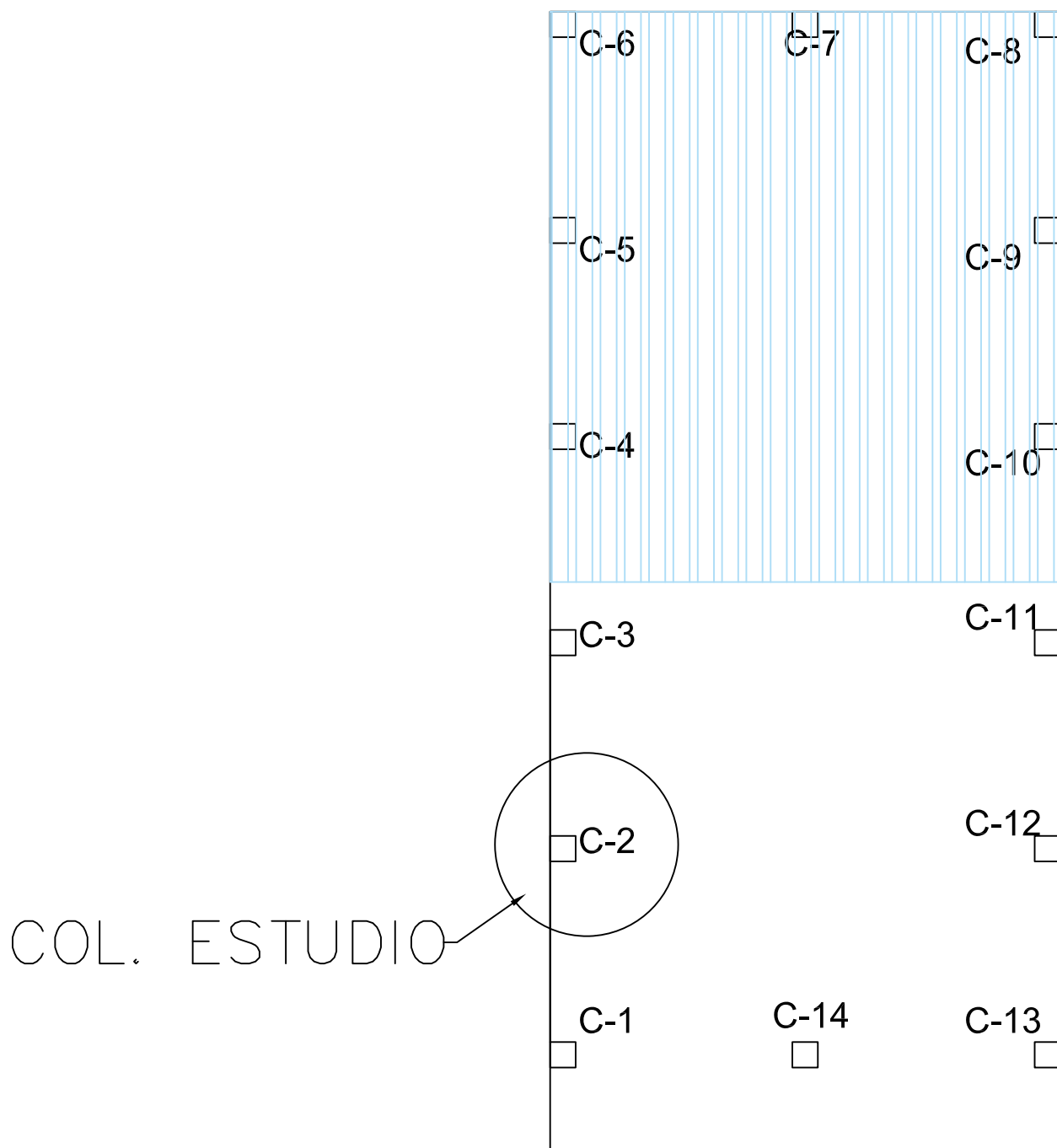
V-14



COL. ESTUDIO

JR. ERIBERTO RIVERA

V-15



JR. EDELMIRA SILVA

V-16

