

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Posgrado**



**EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365.1R Y EHE-08 PARA  
LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE  
CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN**

Tesis para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil  
con mención en Diagnóstico y Reparación de Construcciones  
Patrimoniales y Existentes que presenta:

***Jorge Antonio Mucching Toscano***

Asesor:

***Jose Alberto Acero Martínez***

Lima, 2024

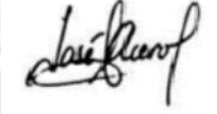
## Informe de Similitud

Yo, Jose Alberto Acero Martínez, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) EVALUACION DE NORMATIVAS ACI 365.1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA UTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN, de el autor Jorge Antonio Mucching Toscano, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 19%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 24/09/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 07 de octubre de 2024.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Acero Martínez, Jose Alberto</u>	
DNI: 29662895	Firma 
ORCID: 0000-0003-4154-9510	

## DEDICATORIA

*“Hijo, nunca dejes que nadie te diga que no puedes conseguirlo. Si tienes un sueño, tienes que protegerlo y cuidarlo. Confió en ti. Y recuerda siempre que tú eres yo y yo soy tu...”*

Discurso de Fernando Mucching Pinedo, diciembre del 2019.

A tu memoria, Chacho.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre Haydee, por su apoyo incondicional para crecer como persona.

A mi esposa Jhasmin, por ser mi soporte y mi motor para cumplir mis objetivos.

A mi hermano Sergio, por ser mi ejemplo a seguir y su aporte en la investigación.

A mis tías Rosa y Marilú, por siempre estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi asesor, por su constante capacitación y orientación en cada etapa del estudio.

A la Pontificia Universidad Católica, por la educación brindada.

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de los modelos predictivos ACI 365.1R y EHE-08, se llevó a cabo una campaña experimental en seis estructuras afectadas por corrosión en las proximidades del litoral peruano. El estudio implicó la realización de inspecciones visuales, auscultación de acero, ensayos de carbonatación, extracción de especímenes diamantinos y muestreo de concreto triturado. Luego, se sometieron las muestras a ensayos de resistencia a la compresión del concreto y obtención de concentración de cloruros en las superficies de concreto. La información recopilada se analizó en gabinete utilizando medidas de dispersión y métodos estadísticos. Los resultados revelaron que el modelo europeo EHE-08 presenta una estimación de vida útil menos conservadora, con una media de 44 años y el rango más amplio de periodos, abarcando 66 años. Este modelo también exhibe la mayor dispersión entre los casos estudiados, junto con el coeficiente de variación más bajo, con un valor del 22%. Por otro lado, el modelo americano ACI 365 muestra una vida útil más conservadora, con una media de 16 años y el rango más reducido de valores, limitado a 10 años. Este modelo presenta la menor dispersión y uno de los coeficientes de variación más bajos, con un valor del 23%. Los análisis de correlación de Pearson y el método ANOVA demostraron una notable similitud entre ambos modelos, reflejada en la proximidad de los resultados. Sin embargo, el modelo europeo EHE-08 es más directo en ejecución y forma. Por lo tanto, es la principal elección para este estudio.

**Palabras claves:** resistencia a la compresión, acero de refuerzo, fenómeno de corrosión, ataque de cloruros, predicción de vida útil.

## ABSTRACT

In order to assess the applicability of the service life prediction models ACI 365.1R and EHE-08, an experimental campaign was conducted on six structures affected by corrosion in the vicinity of the Peruvian coastline. The study involved visual inspections, steel auscultation, carbonation tests, extraction of diamond core samples, and sampling of crushed concrete. Subsequently, the samples underwent compressive strength tests and chloride concentration determination on concrete surfaces. The collected information was analyzed using dispersion measures and statistical methods. The results revealed that the European model EHE-08 provides a less conservative estimate of service life, with an average of 44 years and the widest range of periods, spanning 66 years. This model also exhibited the greatest dispersion among the cases studied, coupled with the lowest coefficient of variation at 22%. On the other hand, the American model ACI 365 presented a more conservative service life estimate, with an average of 16 years and a narrower range of values, limited to 10 years. This model showed the least dispersion and one of the lowest coefficients of variation at 23%. Pearson correlation analyses and ANOVA demonstrated a notable similarity between both models, as reflected in the proximity of the results. However, the European model EHE-08 is more straightforward in execution and presentation. Therefore, it is the primary choice for this study.

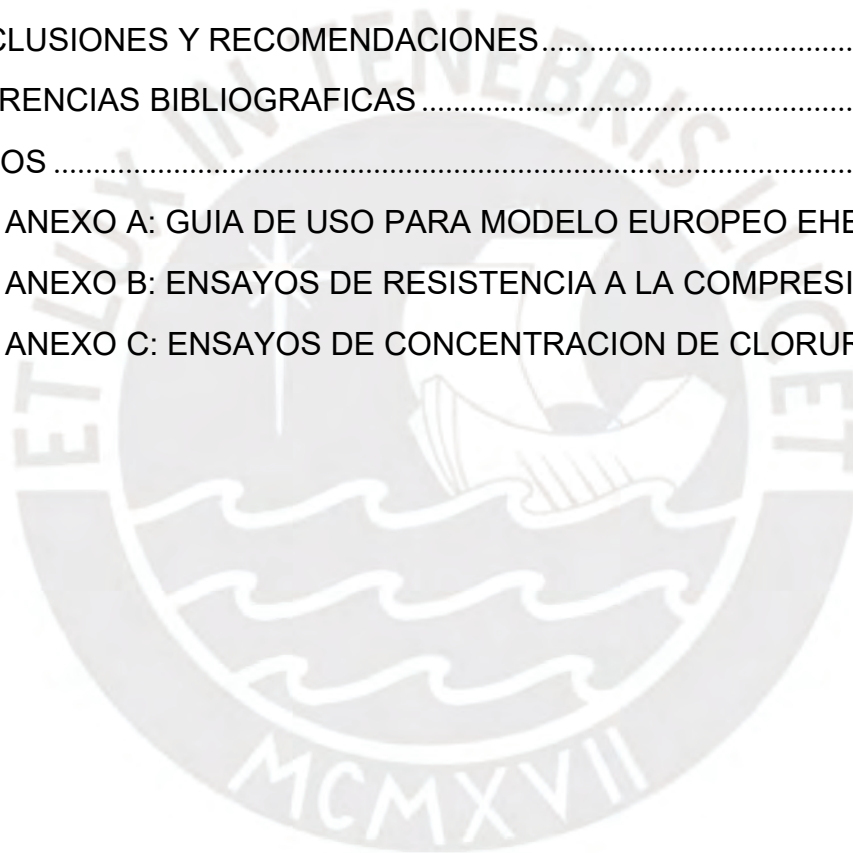
**Keywords:** compressive strength, reinforcing steel, corrosion, chloride attack, service life prediction,

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS.....	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 MOTIVACIÓN.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 HIPOTESIS.....	17
1.4 METODOLOGIA.....	17
1.5 CAMPAÑA EXPERIMENTAL.....	19
1.6 CONTENIDO DEL ESTUDIO.....	20
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO.....	21
2.1 ANTECEDENTES.....	21
2.1.1 Documentos relacionados directamente al estudio.....	21
2.1.2 Estudios o investigaciones anteriores.....	23
2.2 BASES TEORICAS.....	27
2.2.1 DURABILIDAD DEL CONCRETO.....	27
2.2.1.1 <i>Problemas que causan el deterioro del concreto</i> .....	27
2.2.1.2 <i>Vida Útil de una estructura</i> .....	29
2.2.2 CORROSION DEL REFUERZO DE ACERO.....	31
2.2.2.1 <i>Origen de la corrosión</i> .....	32
2.2.2.2 <i>Tipos de corrosión</i> .....	33

2.2.2.2.1	<i>Fenómeno de carbonatación</i> .....	34
2.2.2.2.2	<i>Ataque por contenido de cloruros</i> .....	36
2.2.3	CONDICIONES ADICIONALES DE DURABILIDAD.....	38
2.2.4	DEGRADACION POR ATAQUE DE CLORUROS.....	47
2.3	DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	48
CAPÍTULO III: CASO DE APLICACION.....		52
3.1	DESCRIPCION DEL CASO.....	52
3.1.1	ALCANCES DE LA INVESTIGACION.....	52
3.1.2	Actividades desarrolladas durante el estudio.....	54
3.1.3	Recursos y equipamiento utilizado para estudio.....	54
3.2	DESARROLLO DEL CASO.....	55
3.2.1	Influencia del medio ambiente.....	55
3.2.2	Auscultación de la estructura.....	57
3.2.3	Fenómeno de degradación predominante.....	63
3.2.3.1	<i>Prueba cualitativa de carbonatación</i> .....	63
3.2.3.2	<i>Ensayo de Contenido de cloruros</i> .....	68
3.2.4	Calidad del concreto.....	74
3.2.4.1	Extracción de corazones diamantinos.....	74
3.2.4.2	Compresión de testigos diamantinos.....	78
3.2.5	Aplicación de modelos predictivos.....	85
3.2.5.1	Modelo Europeo EHE-08.....	85
3.2.5.1.1	Modelo de penetración de iones de cloruros.....	85
3.2.5.1.2	Cálculo del tiempo de propagación.....	86
3.2.5.2	Modelo Americano ACI 365.1R.....	87
3.2.5.2.1	Medidas de aproximación.....	87
3.2.5.2.2	Medidas de la corrosion.....	89
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE CASO.....		91
4.1	DESCRIPCION DE RESULTADOS.....	91
4.1.1	Estimación de resistencia a la compresión de los especímenes.....	91

4.1.2	Cálculo de concentración de cloruros en superficie de concreto .....	98
4.1.3	Elección de fenómeno de degradación predominante .....	104
4.1.4	Cálculo de modelos predictivos .....	107
4.1.4.1	MODELO EUROPEO – EHE-08 .....	107
4.1.4.2	MODELO AMERICANO – ACI 365.1R .....	112
4.1.5	Evaluación de aplicabilidad de modelos.....	122
4.1.5.1	Medidas de dispersión .....	122
4.1.5.2	Correlación de Pearson .....	126
4.1.5.3	Metodo de varianza o ANOVA.....	128
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	135
	ANEXOS .....	138
7.1	ANEXO A: GUIA DE USO PARA MODELO EUROPEO EHE-08.....	138
7.2	ANEXO B: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION .....	145
7.3	ANEXO C: ENSAYOS DE CONCENTRACION DE CLORUROS .....	152



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>La conexión entre el comportamiento del concreto y el concepto de vida útil de una estructura.</i> .....	30
<b>Figura 2 .</b> <i>Esquema electroquímico de la corrosion en el concreto armado.</i> .....	32
<b>Figura 3.</b> <i>Esquema sintetizado del fenómeno de carbonatación.</i> .....	35
<b>Figura 4.</b> <i>Esquema sintetizado del avance de la corrosion debido a la carbonatación.</i> .....	35
<b>Figura 5.</b> <i>Categorías de exposición en función a la corrosion de acero,</i> .....	39
<b>Figura 6.</b> <i>Categorías de exposición en función a la corrosion de acero (II).</i> .....	40
<b>Figura 7.</b> <i>Vida útil nominal en función al tipo de estructuras.</i> .....	41
<b>Figura 8.</b> <i>Representación gráfica de la degradación de la estructura a través del tiempo.</i> .....	42
<b>Figura 9.</b> <i>Coeficiente de exposición al ambiente <math>C_{env}</math>.</i> .....	44
<b>Figura 10.</b> <i>Coeficiente de acuerdo al contenido de aire <math>C_{air}</math>.</i> .....	44
<b>Figura 11.</b> <i>Parámetros según la clase de adiciones (a y b).</i> .....	44
<b>Figura 12.</b> <i>Velocidad de corrosión de acuerdo al tipo de exposición.</i> .....	46
<b>Figura 13.</b> <i>Vistas panoramicas de edificios inspeccionados afectados por corrosion.</i> .....	53
<b>Figura 14.</b> <i>Equipamiento utilizado para la etapa de auscultacion.</i> .....	58
<b>Figura 15.</b> <i>Escaneo preliminar en elementos de edificios inspeccionados afectados por corrosion.</i> .....	58
<b>Figura 16.</b> <i>Equipamiento utilizado para ensayo de carbonatacion.</i> .....	63
<b>Figura 17.</b> <i>Prueba cualitativa de carbonatacion en edificios inspeccionados afectados por corrosion.</i> .....	64
<b>Figura 18.</b> <i>Equipamiento utilizado para extraccion de muestras de concreto.</i> .....	68
<b>Figura 19.</b> <i>Extraccion de muestras para contenido de cloruros en edificios inspeccionados afectados por corrosion.</i> .....	69
<b>Figura 20.</b> <i>Equipamiento utilizado para la extracción de testigos diamantinos.</i> .....	74
<b>Figura 21.</b> <i>Fijacion y perforacion para extraccion en edificios inspeccionados afectados por corrosion.</i> .....	75
<b>Figura 22.</b> <i>Rotulacion de extraccion de testigos diamantinos en edificios inspeccionados afectados por corrosion.</i> .....	77
<b>Figura 23.</b> <i>Valores de los factores de corrección de resistencia para convertir las resistencias del núcleo en resistencias equivalentes in situ.</i> .....	82
<b>Figura 24.</b> <i>Grafica de función error.</i> .....	88
<b>Figura 25.</b> <i>Grafica de relación entre la relación a/c y <math>D(28)</math>.</i> .....	89
<b>Figura 26.</b> <i>Grafica de líneas con marcadores de los resultados obtenidos en ambos métodos.</i> .....	98

Figura 27. Grafica de línea de tendencia para valores de relación a/c vs resistencia a la compresión ( $f'c$ ).	99
Figura 28. Grafica de línea de tendencia para valores de relación a/c vs contenido de cemento por m <sup>3</sup> .	100
Figura 29. Grafica compuesta del %avance de carbonatacion en funcion al recubrimiento in-situ.	105
Figura 30. Grafica compuesta de barras y marcadores del Cc (%) promedio segun edificio.	106
Figura 31. Grafica de línea de tendencia para valores de coeficiente de difusión a la edad "to" D(to).	107
Figura 32. Grafica de línea de tendencia para valores de coeficiente de difusión a la edad "t28" D(t28).	113
Figura 33. Grafica de relación entre la relación a/c y el coeficiente "m".	113
Figura 34. Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio A (SMP).	118
Figura 35. Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio B (AREQUIPA).	119
Figura 36. Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio C (ANCON).	119
Figura 37. Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio D (CALLAO).	120
Figura 38. Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio E (HUACHO).	120
Figura 39. Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio F (TRUJILLO).	121
Figura 40. Grafica de columnas agrupadas para ambos modelos predictivos – Media Aritmética.	123
Figura 41. Grafica de barras agrupadas para ambos modelos predictivos – Desviación estándar media.	123
Figura 42. Grafica de columnas agrupadas para ambos modelos predictivos – Coeficiente de variación (%).	124
Figura 43. Grafica de diagrama de dispersión de los periodos calculados para ambos modelos.	126
Figura 44. Grafica de datos para elección de cuantiles de la distribución de Tukey $q \propto (k, N - k)$ .	130

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Información de los 06 edificios inspeccionados afectados por corrosión...	52
<b>Tabla 2.</b> Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio A – (Estación San Martín de Porres)	55
<b>Tabla 3.</b> Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio B – (Estación La Joya)	55
<b>Tabla 4.</b> Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio C – (Estación Antonio Raymondi)	56
<b>Tabla 5.</b> Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio D – (Estación Campo de Marte)	56
<b>Tabla 6.</b> Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio E – (Estación UNFJ)	56
<b>Tabla 7.</b> Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio F – (Estación Trujillo)	57
<b>Tabla 8.</b> Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio A – SMP.	59
<b>Tabla 9.</b> Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio B – AREQUIPA.	60
<b>Tabla 10.</b> Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio C – ANCON.	60
<b>Tabla 11.</b> Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio D – CALLAO.	61
<b>Tabla 12.</b> Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio E – HUACHO.	61
<b>Tabla 13.</b> Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio F – TRUJILLO.	62
<b>Tabla 14.</b> Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio A (SMP)	65
<b>Tabla 15.</b> Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio B (AREQUIPA)	66
<b>Tabla 16.</b> Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio C (ANCON)	66
<b>Tabla 17.</b> Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio D (CALLAO).	67
<b>Tabla 18.</b> Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio E (HUACHO)	67
<b>Tabla 19.</b> Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio F (TRUJILLO).	68
<b>Tabla 20.</b> Contenido máximo de cloruros en función al porcentaje del peso del cemento.	70
<b>Tabla 21.</b> Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio A (SMP)	71

<b>Tabla 22.</b> <i>Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio B (AREQUIPA)</i> .....	71
<b>Tabla 23.</b> <i>Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio C (ANCON)</i> .....	72
<b>Tabla 24.</b> <i>Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros– Edificio D (CALLAO)</i> .....	72
<b>Tabla 25.</b> <i>Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio E (HUACHO)</i> .....	73
<b>Tabla 26.</b> <i>Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio F (TRUJILLO)</i> .....	73
<b>Tabla 27.</b> <i>Valores de modificación del coeficiente de variación (kc)</i> .....	80
<b>Tabla 28.</b> <i>Valores de K para límites de tolerancia de una cola del 10%</i> .....	81
<b>Tabla 29.</b> <i>Valores del nivel de confianza Z</i> .....	82
<b>Tabla 30.</b> <i>Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio A (SMP)</i> .....	83
<b>Tabla 31.</b> <i>Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio B (AREQUIPA)</i> .....	83
<b>Tabla 32.</b> <i>Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio C (ANCON)</i> .....	83
<b>Tabla 33.</b> <i>Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio D (CALLAO)</i> .....	84
<b>Tabla 34.</b> <i>Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio E (HUACHO)</i> .....	84
<b>Tabla 35.</b> <i>Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio F (TRUJILLO)</i> .....	84
<b>Tabla 36.</b> <i>Tabla de valores de coeficiente de difusión <math>D(t_0)(\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s})</math></i> .....	86
<b>Tabla 37.</b> <i>Tabla de valores de velocidad de corrosión según clase general de exposición</i> .....	87
<b>Tabla 38.</b> <i>Tabla de valores de la función error</i> .....	88
<b>Tabla 39.</b> <i>Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio A (SMP)</i> .....	92
<b>Tabla 40.</b> <i>Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio B (AREQUIPA)</i> .....	92
<b>Tabla 41.</b> <i>Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio C (ANCON)</i> .....	92
<b>Tabla 42.</b> <i>Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio D (CALLAO)</i> .....	92
<b>Tabla 43.</b> <i>Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio E (HUACHO)</i> .....	93
<b>Tabla 44.</b> <i>Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio F (TRUJILLO)</i> .....	93

<b>Tabla 45.</b> Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio A (SMP).....	95
<b>Tabla 46.</b> Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio B (AREQUIPA).....	95
<b>Tabla 47.</b> Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio C (ANCON).....	95
<b>Tabla 48.</b> Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio D (CALLAO).....	96
<b>Tabla 49.</b> Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio E (HUACHO).....	96
<b>Tabla 50.</b> Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio F (TRUJILLO).....	96
<b>Tabla 51.</b> Resultados de la estimación de la resistencia característica promedio para las edificaciones inspeccionadas.....	97
<b>Tabla 52.</b> Tabla de correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.....	99
<b>Tabla 53.</b> Tabla de correspondencia entre la relación agua/cemento y el contenido de cemento por m <sup>3</sup> .....	100
<b>Tabla 54.</b> Tabla de resultados de relación a/c y contenido de cemento por m <sup>3</sup> .....	101
<b>Tabla 55.</b> Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio A (SMP).....	101
<b>Tabla 56.</b> Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio B (AREQUIPA).....	102
<b>Tabla 57.</b> Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio C (ANCON).....	102
<b>Tabla 58.</b> Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio D (CALLAO).....	103
<b>Tabla 59.</b> Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio E (HUACHO).....	103
<b>Tabla 60.</b> Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio F (TRUJILLO).....	104
<b>Tabla 61.</b> Nivel de degradación de los edificios evaluados.....	105
<b>Tabla 62.</b> Tabla de resultados de coeficientes de difusión D(to) y D(t).....	108
<b>Tabla 63.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio A (SMP).....	109
<b>Tabla 64.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio B (AREQUIPA).....	110
<b>Tabla 65.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio C (ANCON).....	110
<b>Tabla 66.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio D (CALLAO).....	111

<b>Tabla 67.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio E (HUACHO).	111
<b>Tabla 68.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio F (TRUJILLO).	112
<b>Tabla 69.</b> Tabla de resultados de coeficientes de difusión $D(28)$ e $i_{corr}$ .	115
<b>Tabla 70.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio A (SMP).	115
<b>Tabla 71.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio B (AREQUIPA).	116
<b>Tabla 72.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio C (ANCON).	116
<b>Tabla 73.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio D (CALLAO).	117
<b>Tabla 74.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio E (HUACHO).	117
<b>Tabla 75.</b> Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio F (TRUJILLO).	118
<b>Tabla 76.</b> Resumen de valores obtenidos para los modelos predictivos (EHE-08 y ACI 365.1R).	122
<b>Tabla 77.</b> Resumen del coeficiente de correlación de Pearson obtenido para ambos modelos.	127
<b>Tabla 78.</b> Resumen de parámetros estadísticos para el cálculo del factor $F$ .	128
<b>Tabla 79.</b> Resumen de parámetros estadísticos obtenidos en para cada caso de estudio.	129
<b>Tabla 80.</b> Resumen de parámetros estadísticos obtenidos en para cada caso de estudio.	129
<b>Tabla 81.</b> Resumen de resultados del metodo Tukey para el caso de estudio.	131
<b>Tabla 82.</b> Valores de modificación del coeficiente de variación ( $k_c$ ).	139
<b>Tabla 83.</b> Contenido crítico de cloruros ( $C_{th}$ ).	140
<b>Tabla 84.</b> Relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.	140
<b>Tabla 85.</b> Relación agua/cemento y el contenido de cemento por $m^3$ .	141
<b>Tabla 86.</b> Valores de coeficiente de difusión $D(t_0)(\times 10^{-12} m^2/s)$ .	142
<b>Tabla 87.</b> Velocidad de corrosion de acuerdo a la exposición.	144

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 MOTIVACIÓN

Con el transcurso de los años, se ha expandido significativamente el ámbito de investigación en lo que respecta a la predicción de la vida útil debido al ataque de cloruros en estructuras. Esto ha sido acompañado por la evolución de diversas normativas que establecen los criterios para calcular este período. Por lo tanto, contamos con una sólida base sobre la cual fundamentar la presente investigación.

Tras una exhaustiva definición de los conceptos clave, el análisis de los mecanismos de envejecimiento, la clasificación de los entornos según su grado de agresividad y la categorización de los tipos de concreto, se llega a la conclusión de que los enfoques tradicionales y modernos para incorporar la seguridad en el diseño de estructuras de concreto no ofrecen garantías de durabilidad ni constituyen herramientas apropiadas para calcular y prever la vida útil. En este sentido, se presentan de manera minuciosa y se describen los modelos de predicción de vida útil aplicables a estructuras afectadas por el fenómeno de corrosión, ya sea por carbonatación o por ataque de cloruros, mediante métodos deterministas y enfoques probabilísticos.

El presente estudio plantea enriquecer el conocimiento existente en relación a la predicción de la vida útil de edificios de concreto armado afectados por la corrosión originada por el ataque de cloruros. Su resultado puede arrojar luz sobre cuál de las dos normativas actualmente en uso (American Concrete Institute ACI 365.1R e Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08) resulta más pertinente para nuestra área geográfica, y sentar las bases para una futura adaptación de estos modelos a nuestra normativa vigente.

Teniendo fija la meta de esta investigación, se espera que esta tesis no solo cumpla su propósito inicial, sino que también abra el camino para investigaciones posteriores, contribuyendo al avance continuo en este apasionante campo de estudio que es la patología de las estructuras.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Evaluar la aplicabilidad de las normativas ACI 365.1R y EHE-08 para la predicción de vida útil en edificios afectados por corrosión debido al ataque de cloruros, y explorar la posibilidad de adaptar estos modelos a nuestra normativa vigente.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Estimar la resistencia característica promedio a la compresión del concreto en las estructuras mediante la extracción de testigos diamantinos.

Obtener la concentración de cloruros en la superficie del concreto y verificar el contenido crítico de cloruros para las estructuras inspeccionadas.

Detectar el fenómeno de degradación predominante en estructuras afectadas por corrosión (carbonatación y/o ataque de cloruros).

Calcular la predicción de vida útil en edificios de concreto armado de acuerdo con las normativas ACI 365.1R y EHE-08.

### **1.3 HIPOTESIS**

La evaluación comparativa de las normativas ACI 365.1R y EHE-08 para la predicción de la vida útil en edificios afectados por la corrosión causada por el ataque de cloruros revelará diferencias sustanciales en su aplicabilidad. Se anticipa que los hallazgos de esta investigación respaldarán la necesidad de considerar adaptaciones en nuestra normativa vigente con el fin de mejorar la precisión de las estimaciones de vida útil en tales circunstancias.

### **1.4 METODOLOGIA**

La etapa preliminar de esta investigación consistió en la recopilación de información de varias fuentes bibliográficas, donde se estudiaron las bases de los modelos de predicción de vida útil y la metodología de enseñanza de varios autores.

El diseño utilizado en este proyecto se clasifica como analítico-comparativo. Para la realización de esta investigación, se ha optado por el método semiprobabilístico, el cual se caracteriza por su enfoque analítico en la identificación de los fenómenos de degradación, combinando elementos de los métodos deterministas y probabilísticos. Además, se explorarán los modelos empleados para predecir la vida útil en casos de ataque de cloruros, en concordancia con las normativas ACI 365.1R y EHE-08.

La selección de la muestra se llevará a cabo a partir de elementos de concreto armado, como columnas y vigas, que forman parte de edificios afectados por corrosión. Es esencial que estas muestras cumplan rigurosamente con los requisitos establecidos en las normativas RNE E-060, ACI-365.1R, ACI 318-14 y EHE-08.

La fase inicial del estudio comprenderá actividades de campo que consistirán en:

1. Inspección visual del estado actual de las estructuras.
2. Auscultación del acero.
3. Medición del espesor del recubrimiento.
4. Prueba de carbonatación.
5. Muestreo de concreto.
6. Extracción de testigos diamantinos.

A continuación, las muestras extraídas serán enviadas a un laboratorio certificado para llevar a cabo los ensayos correspondientes, incluyendo la determinación del contenido de cloruros y las pruebas de compresión de los testigos diamantinos.

En la etapa de gabinete, se consolidará y analizará la información recopilada. Se emplearán métodos estadísticos para realizar un análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de los cálculos de predicción de vida útil por ataque de cloruros, de acuerdo con las normativas ACI 365.1R y EHE-08.

La recopilación de data de un edificio afectado por corrosión abarcará diversas fuentes de información, tales como planos arquitectónicos, antecedentes históricos e informes de evaluación, entre otros documentos relevantes. Por otro lado, se requerirá de equipos especializados para llevar a cabo la extracción de testigos diamantinos, ensayos de compresión y el análisis del contenido de cloruros. Es crucial que todos estos equipos cumplan estrictamente con las especificaciones y requisitos establecidos por la Norma Técnica Peruana correspondiente.

Para el procesamiento y análisis de la información recopilada, se aplicarán los principios de la estadística descriptiva, tanto en el manejo de datos agrupados como no agrupados. Estos datos serán sometidos a evaluación y análisis mediante métodos y herramientas estadísticas.

## 1.5 CAMPAÑA EXPERIMENTAL

La campaña experimental se basa en los métodos de inspección y evaluación de estructuras de concreto armado.

Para llevar a cabo este proceso, es crucial comprender las etapas de inspección, estas incluyen:

- a. Para una inspección preliminar,** se recopila información general, se analiza la influencia del entorno, se revisa el proyecto original, se realiza una inspección visual y una auscultación de la estructura.
- b. Para una Inspección profunda,** se seleccionan áreas específicas para para la recolección de muestras. Luego, se eligen las técnicas de ensayo, medición y análisis adecuadas, se ejecutan los ensayos tanto en el concreto como en la armadura, y finalmente, se interpretan los resultados obtenidos.

Este enfoque permite una evaluación integral del estado de las estructuras sometidas a corrosión.

Se tiene como objetivo evaluar la aplicabilidad de las normativas ACI 365.1R y EHE-08 para la predicción de vida útil por ataque de cloruros en edificios afectados por corrosión y una futura adaptación de los modelos en nuestra normativa vigente.

Se preparo la siguiente campaña experimental con el fin, de obtener los parámetros específicos para la aplicabilidad de los modelos predictivos, estos son:

- Seis extracciones de testigos diamantinos - NTP 339.059.
- Seis ensayos para la compresión de testigos diamantinos- NTP 339.034.
- Doce pruebas de contenido de iones cloruro en concreto triturado ASTM D-512.
- Doce pruebas de profundidad de carbonatación – ASTM D-1293.
- Doce auscultaciones del acero existente: distribución y cantidad, diámetro del acero y perdida de sección del refuerzo.

## 1.6 CONTENIDO DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta el contenido de la tesis presentado de la siguiente manera:

**Capítulo I:** Introduce el trabajo abarcando la motivación, los objetivos, las hipótesis, la metodología empleada y la estructura de la tesis.

**Capítulo II:** Revisa el estado del arte y el marco teórico, enfocándose en los autores que han explorado el tema, los principios básicos del fenómeno de la corrosión, los modelos de predicción de vida útil, y la definición del fenómeno de degradación causado por ataque de cloruros.

**Capítulo III:** Detalla la aplicación de las normativas ACI-365.1R y EHE-08 para la predicción de la vida útil de estructuras de concreto armado afectadas por corrosión debido a ataques de cloruros. También presenta el caso de estudio, describiendo la inspección in-situ de las estructuras, la evaluación del acero, la medición del espesor del recubrimiento, pruebas de carbonatación, muestreo de concreto, extracción de testigos diamantinos, y los resultados de los ensayos de laboratorio.

**Capítulo IV:** Aborda el análisis de los resultados obtenidos mediante los principios de la estadística descriptiva, utilizando técnicas de datos agrupados y no agrupados, y analizados con métodos como ANOVA y PEARSON.

**Conclusiones y recomendaciones:** Resume las conclusiones de la tesis y ofrece recomendaciones para futuros trabajos que puedan derivarse de esta investigación

**Anexos:** Incluye los reportes de los ensayos de laboratorio y una guía de uso para el modelo predictivo seleccionado.

# CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO

## 2.1 ANTECEDENTES

### 2.1.1 Documentos relacionados directamente al estudio

En los últimos años, hemos sido testigos de un incremento notable en la cantidad de estructuras de concreto armado que presentan patologías. Estas problemáticas como la corrosión, reacción álcali-agregados y lixiviación, hasta otros fenómenos que aceleran el envejecimiento de las estructuras. En todos los proyectos de estructuras de concreto armado, se establece una proyección como mínimo una vida útil de 50 años, por lo tanto, es de vital importancia cumplir con los requisitos mínimos para asegurar la durabilidad del concreto.

Las estructuras de concreto se erigen con la expectativa de perdurar en el tiempo en todo el mundo. Sin embargo, la incógnita que persiste entre diseñadores y constructores es cuánto tiempo exactamente resistirán. ¿Será un año, una década, quizás un siglo o incluso más? A pesar de los esfuerzos de algunos códigos de construcción, como el Euro código, que establecen periodos de uso recomendados que varían de 10 a 100 años según la categoría de vida útil de cálculo y el tipo de estructura, la predicción precisa de su longevidad sigue siendo un desafío. Puede que la mejor respuesta sobre la vida útil necesaria para satisfacer las demandas de las construcciones del siglo XXI resida en las obras de nuestros antepasados del Imperio Romano. Algunas de estas estructuras antiguas han superado la prueba del tiempo y siguen en pie, con casi dos mil años de historia, lo que demuestra su durabilidad. (Sotomayor , 2016, p. 6)

La durabilidad de una estructura de concreto armado, según Collepardi (1980), se define como su capacidad para mantener sus propiedades estructurales y funcionales originales a lo largo de su vida útil prevista, considerando las condiciones de exposición para las que fue diseñada. Esto implica que la

durabilidad de una estructura no está solo determinada por la durabilidad del concreto en sí.

Es un hecho conocido que las estructuras antiguas, que empleaban altas concentraciones de cemento por metro cúbico, materiales puzolánicos en la composición del concreto y recubrimientos aceptables en las armaduras, han resistido el paso del tiempo hasta el día de hoy. Sin embargo, en la actualidad, el entorno ambiental se ha vuelto más hostil que en décadas pasadas, especialmente en las áreas urbanas de gran tamaño. Además, el perfeccionamiento de las técnicas de diseño, más avanzadas y, en consecuencia, más económicas, también ha tenido un impacto negativo en lo que respecta a la durabilidad. (Helene y Pereira, 2003, p. 81)

En consecuencia, se realizaron exámenes para determinar las causas más frecuentes de los daños. Carmona y Marega (1988) llevaron a cabo un elaborado análisis para identificar los problemas patológicos más comunes en los edificios de concreto y sus orígenes. En cuanto a los síntomas clínicos más prevalentes, el mismo estudio descubrió que la corrosión de las armaduras es una de las causas más comunes de degradación en las estructuras de concreto, representando el 31% de la ocurrencia total.

Tutti (1982) dividió el proceso en dos etapas: el tiempo de incubación y propagación, y ofreció un modelo de vida útil de las estructuras de concreto desde la perspectiva de la corrosión de las armaduras.

La etapa de incubación se refiere al tiempo que toma a los agentes corrosivos (como cloruros o CO<sub>2</sub>) atravesar el recubrimiento y alcanzar la armadura, dañándola gradualmente. Por otro lado, la fase de propagación abarca un período en el cual se acumula progresivamente la degradación hasta que se alcance un nivel inaceptable de deterioro. (Andrade, 1992, p. 101)

Según Helene (1993), durante el ciclo de vida de una estructura específica, se pueden identificar tres fases distintas: el período de inicio, conocido como la *vida útil del proyecto*; el período en el que aparecen los primeros indicios de corrosión, denominado *vida útil de servicio o de uso*; y el período que se extiende hasta el colapso parcial o total de la estructura, conocido como *vida útil total*. Además, este introduce el concepto de vida útil residual, que se refiere al período posterior a una inspección técnica inicial, durante el cual la estructura aún conserva la capacidad de desempeñar sus funciones.

Fue una tarea sumamente compleja determinar con precisión la vida útil de las estructuras. Según Page (1982), prever cuánto tiempo durará una estructura basándose en ensayos acelerados y propiedades electroquímicas de componentes metálicos resultaba un desafío significativo. Este investigador apuntaba que una de las razones de esta dificultad radicaba en las diversas formas en que la corrosión podía manifestarse, y afirmaba que, en ese momento, el conocimiento disponible no permitía una predicción precisa de la vida útil.

Como resultado de esta dificultad, se iniciaron investigaciones enfocadas en los principales fenómenos de degradación. Morinaga (1990) abordó un método de predicción de vida útil que consideraba los dos principales mecanismos de despasivación de la armadura: por carbonatación y por ataque de cloruros. En su estudio, el autor estableció vínculos sólidos entre el nivel de corrosión de las armaduras y la vida útil del concreto. Esto permitió realizar predicciones en diversas condiciones y evaluar de manera cuantitativa los factores que ejercían la mayor influencia, al combinar los límites permisibles y las tasas de corrosión.

### **2.1.2 Estudios o investigaciones anteriores**

Helene (1997) llevó a cabo una revisión exhaustiva en Brasil y llegó a la conclusión de que los conceptos y métodos convencionales para incorporar la seguridad en el diseño de estructuras de hormigón no garantizan la durabilidad y no se consideran herramientas adecuadas para calcular y prever la vida útil.

Para ello, definió conceptos, analizó mecanismos de envejecimiento, clasificó el entorno según su grado de agresión y agrupó distintos tipos de concreto. Este autor afirma que deben establecerse nuevas directrices de diseño basadas en un conocimiento integral de los procesos y mecanismos de degradación, así como de sus efectos, con el fin de alcanzar unos requisitos mínimos de durabilidad y estética.

Posteriormente, Nmai (2000) llevó a cabo un análisis exhaustivo de las tecnologías conocidas e ideó una estrategia para proteger las estructuras de hormigón contra la corrosión de las armaduras. En su trabajo, propuso un novedoso modelo de previsión de la vida útil que incorpora numerosas tecnologías y proporciona a los diseñadores y propietarios herramientas razonables para tomar decisiones sobre los sistemas de prevención de la corrosión de las armaduras. Este modelo, denominado «Life-365», se basa en una solución de diferencias finitas a la segunda ley de difusión de Fick, tal y como se describe en la norma ACI-365. De este modo, puede desarrollarse un modelo de análisis de costos para la corrosión inducida por el ataque de cloruros.

En Brasil, Helene & Pereira (2007) proporcionaron una guía conceptual destinada a orientar a profesionales en el campo de la rehabilitación de estructuras de concreto armado. Esta guía abarca la metodología para el análisis, la estrategia y el diseño de proyectos de rehabilitación, así como la descripción de diversos sistemas y procedimientos de reparación que permiten restaurar de manera duradera la capacidad resistente de una estructura.

En Corea, Song et al. (2007) realizaron una predicción de la vida útil de las estructuras de concreto armado utilizando un modelo de corrosión basado en la micromecánica, el cual consiste en un modelo de penetración de cloruro para evaluar la iniciación del fenómeno. Implementando modelos en un programa de análisis de elementos finitos, se simula un análisis de corrosión dependiente del tiempo y el espacio y una predicción de la vida útil de las estructuras de concreto armado debido al ataque de cloruros.

En España, Pérez (2010) desarrolló un proyecto que aborda de manera integral el fenómeno de corrosión de las armaduras en diversas estructuras de concreto armado. En este proyecto, se proporciona una descripción detallada del fenómeno de corrosión, se explican sus diferentes manifestaciones y se analizan los factores desencadenantes, que incluyen la carbonatación y la presencia de cloruros, así como los agentes acelerantes y retardantes. Además, se presenta una estimación de la vida útil residual de las estructuras de concreto armado, utilizando un enfoque semi-probabilístico que sigue las pautas de la EHE. Esta estimación es de gran importancia para evaluar la viabilidad de realizar reparaciones en estas estructuras.

Según Andrade (2013), los modelos y métodos de estimación de la durabilidad se utilizan cada vez más en la práctica, así como los procedimientos de ensayo pertinentes, tanto directos como indirectos. Es imprescindible avanzar en la incorporación de estos modelos e indicadores de durabilidad en la regulación actual. No obstante, debido a la falta de investigaciones para periodos mayores de 25 años y a la incertidumbre sobre la forma en que los ensayos a corto plazo reflejan la realidad a largo plazo, es necesario proceder con precaución y prestar atención a las restricciones. La inclusión de normas de durabilidad en las grandes infraestructuras también es beneficiosa, siempre y cuando se especifiquen cuidadosamente y se conozcan adecuadamente las tolerancias o probabilidades de fallo.

Para el movimiento del cloruro a través del concreto en circunstancias de exposición al aire, se presentó un modelo empírico basado en un flujo constante. En la superficie del concreto expuesto, se consideró un flujo de masa constante para proporcionar una fuente constante de cloruro. Los perfiles experimentales de cloruro tomados de una estructura marina auténtica se sometieron a la aplicación del modelo y los resultados se compararon con el modelo clásico de función de error. (De Vera, Climent, Viqueira y Anton, 2015, p. 2)

Alla (2016) comparó las normas “ACI 318-14” y “EHE-08” en términos de ensayos de corrosión y durabilidad en los estados límite. Además, llevó a cabo un ejercicio en el que ejecutó los modelos y las técnicas de cálculo empleadas por las dos normas, obteniendo resultados bastante llamativos.

Jung (2018) enfatizó en la importancia de prolongar la vida útil a través de reparaciones como un elemento crucial para definir estrategias de mantenimiento. Además, señaló que los modelos tradicionales utilizados para estimar el costo a lo largo del ciclo de vida muestran un incremento escalonado de los costos, influenciado en gran medida por la calidad de la construcción y los materiales de reparación, lo que introduce incertidumbres en la predicción de la vida útil residual. También exploró el impacto de los parámetros de diseño, como el coeficiente de variación de la vida útil y el momento de la primera reparación, llegando a la conclusión de que el enfoque probabilístico resulta efectivo para reducir de manera significativa la frecuencia de reparaciones al modificar tanto la vida útil prevista como los parámetros de diseño.

Torres, Andrade y Sánchez (2020) señalaron que, cuando el hormigón está fisurado, no existe ningún procedimiento para calcular el transporte de cloruros. Dado que la normativa limita la anchura de las fisuras en función del tipo de ambiente de exposición, en esta investigación se estudió la relación entre la anchura de la fisura y el coeficiente de difusión, y se estimó el periodo de iniciación de la corrosión por cloruros en el hormigón fisurado. Así, se obtuvo una ley que permite predecir la variación del tiempo de incubación en función de espesor de la fisura.

Finalmente, Alinaghimaddah, Hasandoost, Karimi y Safiey (2023) abordaron la naturaleza del modelo predictivo de corrosión por ataque de cloruros, utilizando un enfoque probabilístico para determinar si es posible sustituir la resistencia del concreto por el espesor del recubrimiento utilizando el método de Monte Carlo con simulaciones adecuadas y basado en un índice de confiabilidad objetivo de 1.3, se demostró que desde la perspectiva de la durabilidad del concreto, es posible aumentar la resistencia del concreto en 5 MPa y reducir el

espesor del recubrimiento en 5 mm al mismo tiempo en condiciones de cloruro bajos y moderados; donde el tiempo de incubación de la corrosión no cambia significativamente al modificar simultáneamente estos dos parámetros. Sin embargo, esto puede no ser práctico en condiciones de cloruro altas y severas.

## **2.2 BASES TEORICAS**

Para introducir el contenido del estudio adoptaremos como referencia las siguientes bases teóricas:

### **2.2.1 DURABILIDAD DEL CONCRETO**

El hormigón es un material muy eficaz, relativamente asequible y adaptable, y su uso en la construcción es cada vez mayor. Las estructuras construidas con este material pueden ser resistentes y duraderas, pero es necesario tener en cuenta el medio ambiente a la hora de diseñarlas. También es fundamental distinguir entre el deterioro del hormigón y la falta de protección del acero ante la corrosión.

Inicialmente, se pensaba que el hormigón era un material muy duradero; sin embargo, la experiencia ha revelado que no siempre es así, a menos que se construya teniendo en cuenta su durabilidad y sus procesos (Alla, 2016).

#### **2.2.1.1 *Problemas que causan el deterioro del concreto***

Diversas reacciones físicas y químicas están relacionadas con la degradación estructural. A continuación, se enumeran las principales causas de las reacciones físicas:

La degradación superficial se produce como resultado de la erosión, la cavitación y el despostillamiento en la superficie de la estructura.

Las fisuras internas se producen como resultado de gradientes de humedad o temperatura, presiones de cristalización y exposición a temperaturas extremas.

Existen tres tipos de causas para las reacciones químicas, como se muestra a continuación:

La humedad externa, al entrar en contacto con la pasta de cemento, tiende a lixiviar ciertos productos a base de calcio, como la cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , lo que reduce significativamente el pH del hormigón. Este proceso se conoce como hidrólisis o lixiviación.

Intercambio iónico entre los hidratos y el medio hostil: algunos ácidos procedentes de los sectores alimentario y minero pueden reaccionar con la pasta de cemento para generar sales solubles, que luego pueden lixivarse y depositarse en la superficie del hormigón.

La producción de productos expansivos viene determinada por el tipo de material utilizado y el grado de exposición de las estructuras. Si no se toman medidas paliativas, pueden producirse fuertes presiones internas y agrietar los edificios de hormigón, donde las causas son las siguientes:

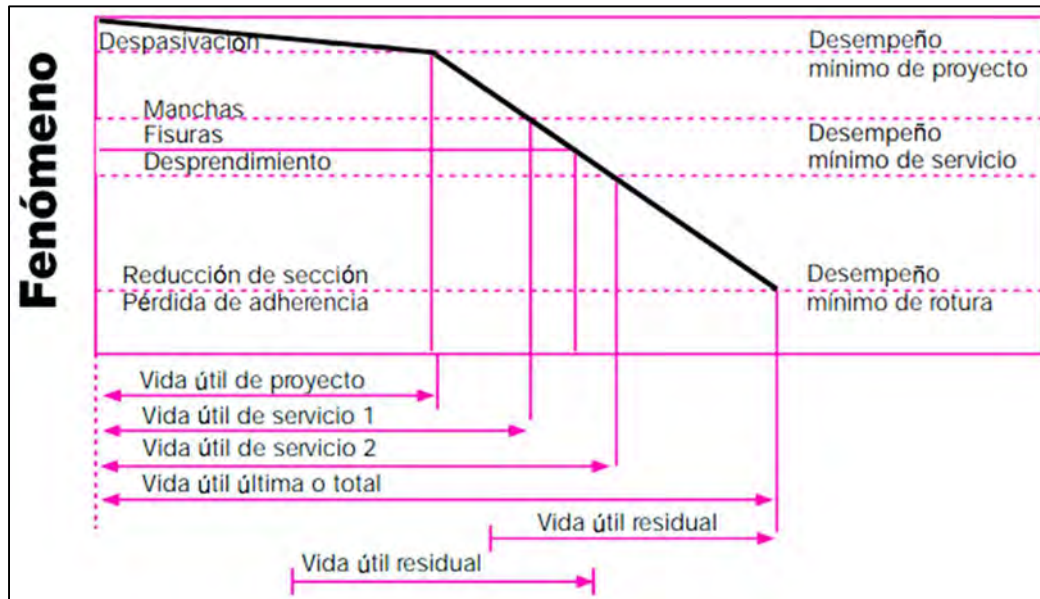
- Los sulfatos que se encuentran en las aguas subterráneas atacan y forman un gel expansivo.
- La corrosión de las armaduras de refuerzo que ocurre cuando se forman óxidos de hierro que aumentan hasta 7 veces su volumen, lo que provoca una presión interna y la delaminación del hormigón.
- La condensación del agua en los poros capilares provoca presiones internas y la delaminación del concreto (Sotomayor, 2016).

### 2.2.1.2 *Vida Útil de una estructura*

Según Pajuelo (2021), las definiciones de los tipos de vida útil son las siguientes:

- a. La vida útil del proyecto es el período, también conocido como período de iniciación, durante el cual la barrera protectora (revestimiento) de la estructura de hormigón armado resiste diversos mecanismos de daño (carbonatación, penetración de cloruros y penetración de sulfatos, entre otros) hasta que el acero de refuerzo se deteriora.
- b. La vida útil se define como el tiempo que transcurre entre la puesta en servicio y el momento en que la armadura de la estructura de hormigón armado sufre daños sustanciales. En otras palabras, representa la suma de los periodos de inicio y propagación.
- c. La vida útil última, también conocida como «vida útil límite» o «límite último», se refiere a la duración entre la puesta en servicio y el colapso de la estructura de hormigón armado. En otras palabras, representa la suma de los periodos de inicio, propagación y colapso.
- d. La vida útil residual es el tiempo transcurrido entre la intervención de una estructura de hormigón armado y su colapso. En otras palabras, si una estructura de hormigón se somete a un examen, evaluación y reparación de daños dentro de su vida útil y recupera su protección, la vida útil residual comienza en ese momento.

**Figura 1.** La conexión entre el comportamiento del concreto y el concepto de vida útil de una estructura.



*Nota.* La figura muestra los conceptos de los diferentes tipos de vida útil. Fuente: Cerna y Galicia (2010)

Existen numerosas formas de prever la vida útil de una estructura de hormigón armado:

- **Métodos deterministas:** son aquellos que se basan en la investigación de los aspectos que más influyen en la degradación de los elementos, así como en la comprensión de sus modos de acción y funciones de degradación.
- **Métodos probabilísticos:** la técnica probabilística aborda la degradación como un proceso estocástico, explicando la probabilidad de deterioro de cada atributo a lo largo del tiempo. Se trata de una estrategia compleja que se utiliza en proyectos de gran envergadura, ya que es preciso recopilar datos auténticos durante un largo periodo de tiempo.
- **Metodo de ingeniería:** este método combina los dos anteriores y es semiprobabilístico. Esta estrategia se utiliza para detectar problemas de

deterioro de forma analítica y, al mismo tiempo, controlarlos en el proyecto mediante la planificación del mantenimiento (Alla, 2016).

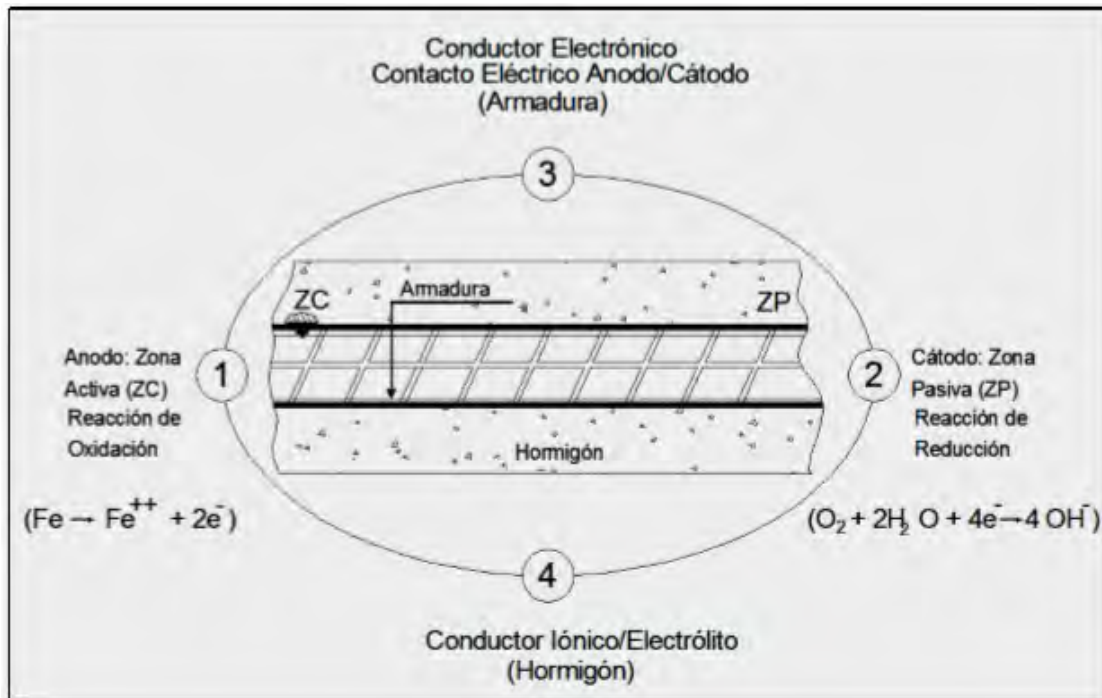
### **2.2.2 CORROSION DEL REFUERZO DE ACERO**

De acuerdo con lo expuesto por Cerna y Galicia (2010), la corrosión de la armadura en el concreto es la oxidación perjudicial del acero por el medio circundante. La corrosión se produce como resultado de la formación de una célula electroquímica, formada por cuatro componentes principales: un ánodo para la oxidación, un cátodo para la reducción, un conductor metálico para el flujo de electrones y un electrolito, es decir, el concreto.

La corrosión electroquímica del acero en el hormigón se debe a la falta de uniformidad del acero (varios tipos de acero, soldaduras y parches activos en la superficie del acero), a su interacción con metales menos activos y a las heterogeneidades del entorno químico o físico (el hormigón) alrededor del acero. Aunque existe la posibilidad de corrosión electroquímica debido a la falta de uniformidad del acero en el hormigón, esto se evita técnicamente mediante la producción de una capa de óxido de hierro «pasivante». Sin embargo, cuando cambian las circunstancias de servicio o entran productos químicos agresivos a través del hormigón, esta capa se rompe y se inicia la corrosión de la armadura, con las tres consecuencias siguientes:

- Se reduce el área del refuerzo y se convierte en óxido.
- Empieza el agrietamiento debido a la presión que ejerce el óxido expansivo.
- La adherencia de la capa “pasivante”.

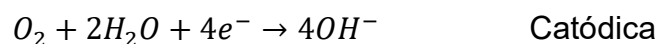
**Figura 2 . Esquema electroquímico de la corrosión en el concreto armado.**



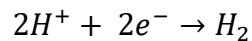
*Nota.* La figura muestra el fenómeno electroquímico de la corrosión. Fuente: Helene y Pereira (2007)

### 2.2.2.1 Origen de la corrosión

Cuando en el proceso interviene una solución acuosa, tienen lugar numerosas reacciones químicas. El metal se disuelve en las zonas anódicas, pero permanece inalterado en las zonas catódicas. Se trata de construir una pila con cada uno de sus distintos componentes: el ánodo, el cátodo, la conexión metálica entre ambos y el electrolito. Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



En el caso del medio ácido, son los iones hidrógenos los que reaccionan con los electrones liberados



Las acumulaciones que se desarrollan durante el proceso de corrosión pueden clasificarse en dos tipos: de COMPOSICION, causadas por la presencia de diversos metales en el acero o por cambios en su superficie, o de concentración, causadas por variaciones en la concentración de iones disueltos (Fernandez, 2016).

#### 2.2.2.2 *Tipos de corrosión*

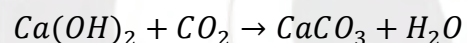
La corrosión se presenta de forma local o generalizada, es por eso que Perez (2010) detallo que, en función de la región corroída, se pueden considerar dos tipos de corrosión: la corrosión localizada, que se define como la degradación de la capa de pasivación por un agente agresivo. La presencia de iones despasivantes (cloruros) es la causa más común de este tipo de corrosión, ya que superan un valor crítico y alteran localmente la capa pasivante. Y la corrosion generalizada también conocida como carbonatación, la cual se caracteriza por un ataque uniforme a toda la superficie del acero debido a la disminución de la alcalinidad en el concreto. Donde, el dióxido de carbono del ambiente se combina con los compuestos alcalinos de la solución porosa, así como con los componentes hidratados del hormigón, haciendo que el pH del hormigón descienda por debajo de un valor umbral y que la capa pasivante se disuelva por completo.

### 2.2.2.2.1 Fenómeno de carbonatación

La carbonatación es una forma de reacción ácida extremadamente importante para la durabilidad del hormigón.

La red de poros del concreto se construye a partir de hidróxidos de potasio, sodio y calcio disueltos en una solución acuosa, así como los álcalis solubles en los áridos, hacen que el pH de la solución en los poros fluctúe entre 12,5 y 13,5. Esta situación hace que el acero embebido en el hormigón se encuentre en el punto P del diagrama de Pourbaix (resistente a la corrosión).

El concreto permite el paso del CO<sub>2</sub> al ser muy poroso. Al ingresar, el CO<sub>2</sub> se combina con la fase líquida del Ca(OH)<sub>2</sub> del concreto, así como con los compuestos de cemento hidratado en equilibrio con esta fase líquida, para generar carbonato de calcio. La fase acuosa se reduce a la siguiente expresión:

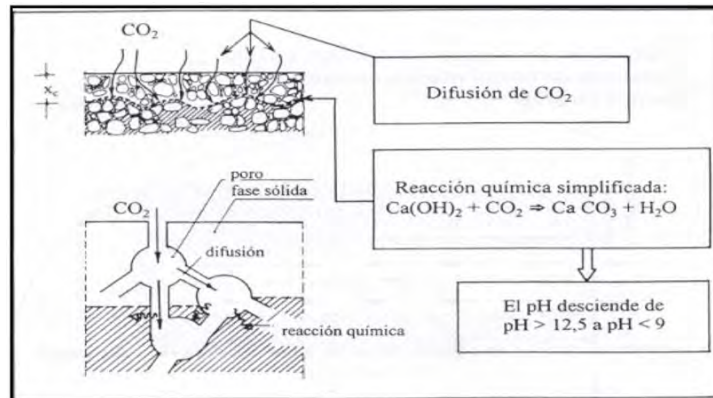


La carbonatación de todo el Ca(OH)<sub>2</sub>, KOH y NaOH de los poros hace que el pH descienda y deje de proteger la armadura contra la corrosión. Cuando todo el cemento endurecido se ha carbonatado por completo, el pH es inferior a 9.

La carbonatación se produce por diversas circunstancias, como los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub>, la permeabilidad del hormigón, la cantidad de material carbonatable (contenido y tipo de cemento) y la humedad relativa del entorno.

El progreso de la carbonatación también viene determinado por la resistencia a la compresión del hormigón, lo que se traduce en menores profundidades de carbonatación para valores de resistencia más elevados (Perez, 2010).

**Figura 3.** Esquema sintetizado del fenómeno de carbonatación.



*Nota.* La figura explica el proceso químico de la carbonatación del concreto. Fuente: Perez (2010)

Una de las expresiones para el avance de la carbonatación se reduce a:

$$X_C = K_C \cdot \sqrt{t}$$

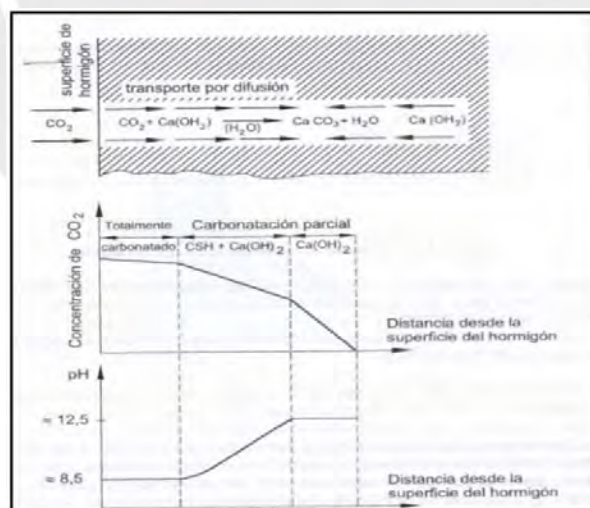
Donde:

$X_C$ : Profundidad de la capa carbonatada (mm)

$K_C$ : Constante de carbonatación ( $\text{mm/año}^{0.5}$ )

$t$ : Tiempo (años)

**Figura 4.** Esquema sintetizado del avance de la corrosión debido a la carbonatación.



*Nota.* La figura detalla el avance de corrosión y su difusión en el concreto. Fuente: Perez (2010)

Según Alla (2016), la carbonatación puede cuantificarse mediante una prueba cualitativa y existen valores de referencia para la constante de carbonatación.

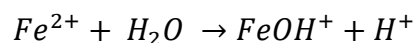
Existen varios métodos para medir la profundidad de carbonatación. El más común es la prueba del indicador fenolftaleína. Esto puede ocurrir de forma esporádica y desigual, pero es útil para determinar la profundidad máxima, mínima y media de carbonatación y compararla con el espesor del recubrimiento. Utilizando la ecuación mencionada, se puede calcular el coeficiente de carbonatación  $k$  y el tiempo de incubación de la corrosión.

#### **2.2.2.2.2 Ataque por contenido de cloruros**

De acuerdo a lo mencionado por Alla (2016), donde afirma que existen varios factores químicos causantes del deterioro del hormigón, además de los iones cloruro. Aunque todos los hormigones expuestos al medio ambiente pueden corroerse, solo los expuestos a cloruros experimentarán el ataque de los iones cloruro. Debido a que la protección contra los cloruros era inadecuada en décadas anteriores, los gastos de reparación y mantenimiento han aumentado drásticamente.

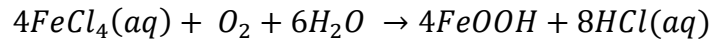
Los cloruros pueden producir grietas aisladas en el hormigón y degradar el recubrimiento protector del acero. El ion  $\text{Cl}^-$  penetra el óxido a través de los poros, formando ánodos metálicos activos rodeados de extensas manchas catódicas de metal pasivo.

El desarrollo del ánodo se produce cuando el pH es bajo o hay una fisura que provoca diferencias de potencial que atraen a los cloruros. Cuando se elimina el oxígeno, la superficie del acero se vuelve ácida.



Los iones cloruro crean compuestos solubles con los iones hierro, facilitando la disolución del óxido de hierro.

El impacto catalítico aumenta en presencia de oxígeno debido a la descomposición de los complejos de cloruro a medida que se propagan desde las picaduras de corrosión rico en oxígeno hacia el hormigón pobre. Los compuestos de cloro son inestables en presencia de oxígeno.



Como resultado, aumenta la acidificación y la liberación de cloruros, lo que acelera la corrosión. Esto es lo que distingue la corrosión galvánica de la corrosión localizada. El hormigón puede contener cloruros, bien combinados o libres. A pesar de que los cloruros no pueden penetrar, pueden seguir transportando iones desde áreas de alta concentración a las más bajas durante años.

Es importante conocer el límite crítico de contenido de cloruros, para lo cual Helene y Pereira (2003) afirman que una concentración crítica de iones cloruros provoca la despasivación del acero, por lo tanto, el valor de contenido crítico de cloruros adoptado es  $C_c=0.40\%$  en peso respecto al contenido del cemento en el concreto.

Por otro lado, Vidaud (2014) señala que para un modelo probabilístico el contenido crítico de cloruros es una variable estocástica, con un límite inferior de  $0.20\%$  y un valor medio de  $0.6\%$  en función al peso del cemento, sin embargo, no existe un método de prueba estandarizado para medir el contenido crítico de cloruros.

Finalmente, Ancori y Tenorio (2021) realizaron un estudio de efectividad de tres tipos de inhibidores de corrosión donde señalan que los iones de cloruro pueden inducir una corrosión localizada cuando se produce una cantidad crítica de cloruros en la superficie del acero, esta se denomina “el umbral de cloruros” que puede variar en función a la calidad del concreto, y este oscila entre el  $0.4\%$  a  $1.0\%$  en función al peso del cemento.

### 2.2.3 CONDICIONES ADICIONALES DE DURABILIDAD

En función del fenómeno de degradación predominante, la Instrucción de hormigón estructural EHE-08 ofrece recomendaciones para predecir la vida útil de las estructuras atacadas por corrosión.

En base a lo expuesto por Muñoz y Mendoza (2012), donde afirma que uno de los tres requisitos para ser resistentes al deterioro natural del tiempo es la durabilidad. Es importante destacar que una estructura no debe exceder los tres siguientes estados límites: estado límite último, límite de servicio y límite de durabilidad ( $t_L \geq t_d$ ).

Donde:

$t_L$ : Tiempo que el agente agresivo necesita para causar un ataque o degradación significativa.

$t_d$ : Valor de cálculo de vida útil que se ve afectado por el coeficiente de seguridad correspondiente.

Para cada tipo de proyecto, se debe determinar el nivel de condiciones ambientales a la que será sometido la estructura, estableciendo una clase de exposición para cada elemento y mencionando los procesos de corrosión que pueden ocurrir en el refuerzo. El tipo de ambiente debe reflejar todas las categorías de agentes agresivos a los que las estructuras estarán expuestas.

Figura 5. Categorías de exposición en función a la corrosión de acero,

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
No agresiva.		I	Ninguno	-Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. -Elementos de concreto en masa.	-Elementos estructurales de edificios, incluidos los elementos, que estén protegidos de la intemperie.
Normal	Humedad alta.	Ila	Corrosión de origen diferente de los cloruros.	-Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (> 65%) o a condensaciones.  - Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm.  - Elementos enterrados o sumergidos.	-Elementos estructurales en sótanos no ventilados. -Cimentaciones. -Estribos, pilas y tableros de puentes en zonas, sin impermeabilizar con precipitación media anual superior a 600 mm. -Tableros de puentes impermeabilizados, en zonas con sales de deshielo y precipitación media anual superior a 600 mm. -Elementos de concreto que se encuentren a la intemperie o en las cubiertas de edificios en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - Colados en cámara sanitaria, o en interiores en cocinas y baños, o en cubierta no protegida.

Nota. Fuente: Ministerio de Fomento (2008).

**Figura 6. Categorías de exposición en función a la corrosión de acero (II).**

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso		
Marina	Humedad media.	IIb	Corrosión de origen diferente de los cloruros.	Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm.	Elementos estructurales en construcciones exteriores protegidas de la lluvia. -Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600 mm.
	Aérea	IIa	Corrosión por cloruros.	-Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. -Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).	-Elementos estructurales de edificaciones en las proximidades de la costa. -Puentes en las proximidades de la costa. -Zonas aéreas de diques, muelle y otras obras de defensa litoral. -Instalaciones portuarias.
	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros.	-Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar.	-Zonas sumergidas de diques, muelle y otras obras de defensa litoral. -Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar.
	En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIIc	Corrosión por cloruros.	-Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicaduras o en zona de carrera de mareas.	- Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, muelle y otras obras de defensa litoral. -Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea.

Nota. Fuente: Ministerio de Fomento (2008).

Los cálculos necesarios para estimar la vida útil basado en el estado límite de durabilidad se incluyen en el anexo 9° de la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08). Perez (2010) ofrece un resumen paso a paso de este procedimiento, que utiliza un método semi-probabilista para verificar el estado límite de durabilidad, donde se debe cumplir con la condición:

$$t_L > t_d$$

Podemos calcular la vida útil de cálculo de la siguiente manera:

$$t_d = Y_t * t_g$$

Donde:

$Y_t$ : Coeficiente de seguridad de vida útil,  $y_t = 1,10$

$t_g$ : Vida útil de proyecto.

En función del tipo de estructura, la EHE propone los siguientes valores para estimar la vida útil nominal del proyecto.

**Figura 7.** Vida útil nominal en función al tipo de estructuras.

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

*Nota.* Fuente: Ministerio de Fomento (2008).

La instrucción EHE recomienda el siguiente proceso para calcular la vida útil:

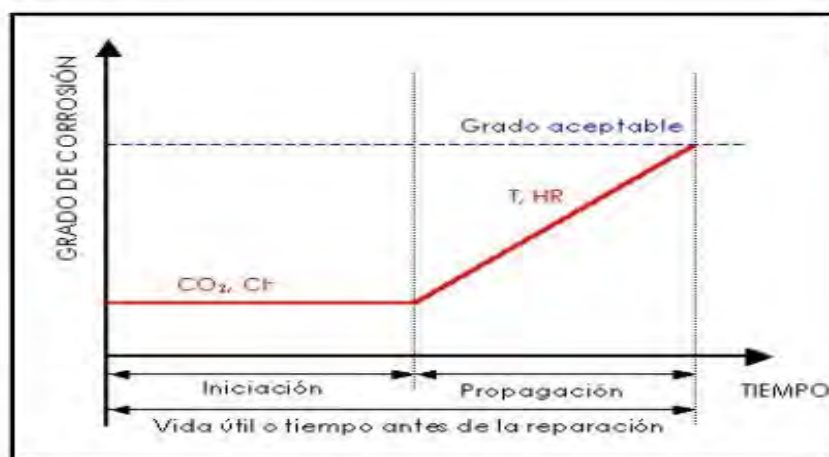
- Seleccionar la vida útil del proyecto y asignar el coeficiente de seguridad.
- Reconocer las clases de exposición, y en cada una descubrir el fenómeno de degradación predominante.
- Optar por el modelo de durabilidad de acuerdo al tipo de fenómeno de degradación ( carbonatación o ataque de cloruros).
- Ejecutar el modelo y estimar de la vida de servicio de la estructura  $t_L$ .
- Verificar del Estado Límite.

### **Modelos de degradación por corrosión**

El tiempo total  $t_L$  necesario para que el ataque o la degradación sean considerables, se reduce en la siguiente expresión:

$$t_L = t_i + t_p$$

**Figura 8.** Representación gráfica de la degradación de la estructura a través del tiempo.



*Nota.* Fuente: Tuutti (1982).

Donde:

$t_i$ : Tiempo de incubación de la corrosión, desde la superficie hasta la capa pasivante.

$t_p$ : Tiempo de propagación, periodo que tarda la corrosión hasta que generar un daño diferencial de la estructura.

La expresión siguiente puede modelar la carbonatación y la penetración de cloruros, que son procesos de difusión en el hormigón a través de sus poros:

$$d = K \cdot \sqrt{t}$$

$d$ : Profundidad de avance del fenómeno, para una edad  $t$ .

$K$ : Coeficiente que se relaciona con fenómeno de degradación en mención.

### **Modelos de degradación por carbonatación**

Según este modelo, se puede encontrar el periodo necesario para que inicie la carbonatación a una longitud  $d$  con respecto al frente del concreto utilizando la expresión:

$$t = (d/K_c)^2$$

Donde:

$d$ : Avance de carbonatación (mm).

$t$ : Periodo expresado en años.

$K_c$ : Coeficiente de carbonatación  $K_c = C_{env} * C_{air} * a * f_{cm}^b$

$C_{env}$ : Coeficiente de exposición al ambiente (Figura 9).

$C_{air}$ : Coeficiente de acuerdo al contenido de aire (Figura 10).

$a, b$ : Parámetros según la clase de adiciones (Figura 11).

$f_{cm}$ : Resistencia media del hormigón a compresión (Mpa) =  $f_{ck} + 8$ .

**Figura 9.** Coeficiente de exposición al ambiente  $C_{env}$ .

Ambiente	$C_{env}$
Protegido de la lluvia	1
Expuesto a la lluvia	0.5

**Figura 10.** Coeficiente de acuerdo al contenido de aire  $C_{air}$ .

Aire ocluido (%)	$C_{air}$
<4.5 %	1
≥4.5 %	0.7

**Figura 11.** Parámetros según la clase de adiciones (a y b).

Conglomerante	Cemento de la Instrucción RC 03	a	b
Cemento Portland	CEM I CEM II/A CEM II/B-S CEM II/B-L CEM II/B-LL CEM II/B-M CEM/V	1800	-1.7
Cemento Portland + 28% cenizas volantes	CEM II/B-P CEM II/B-V CEM IV/A CEM IV/B	360	-1.2
Cemento Portland + 28% humo de sílice	CEM II/A-D	400	-1.2
Cemento Portland + 65% escorias	CEM III/A CEM III/B	360	-1.2

*Nota.* Fuente: Ministerio de Fomento (2008).

### **Modelos de degradación por ataque de cloruros**

El tiempo que se requiere para que se produzca una concentración de cloruro  $C_{th}$  a una distancia  $d$  de la superficie del concreto se determina de la siguiente manera:

$$t_i = (d/K_{cl})^2$$
$$K_{cl} = \alpha \sqrt{12D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th}-C_b}{C_s-C_b}}\right)$$
$$D(t) = D_{(t_0)} \left(\frac{t_0}{t}\right)^n$$

Donde:  $K_{cl}$ : Coeficiente de penetración de cloruros,  $\alpha$ : factor de conversión igual a 56157,  $C_{th}$ : Concentración crítica de cloruros,  $C_s$ : Concentración de cloruros en la superficie del concreto como % del peso del cemento,  $C_b$ : Contenido de cloruros aportado por las materias primas,  $D(t)$ : Coeficiente de difusión expresado en  $\text{cm}^2/\text{s}$ ,  $D(t_0)$ : Coeficiente de difusión a la edad  $t_0$ ,  $n$ : factor de edad.

### **Modelos de propagación para la corrosión**

A partir de la siguiente expresión, se propone una ecuación para calcular el tiempo de propagación de la corrosión:

$$t_p = \frac{80}{\emptyset} * \frac{d}{V_{corr}}$$

Donde:

$d$ : Recubrimiento del concreto en mm

$\emptyset$ : Diámetro del refuerzo de acero.

$V_{corr}$ : Velocidad de corrosión en  $\mu\text{m}/\text{año}$

En la Figura 12 se muestra la velocidad de corrosión en función a la clase de exposición.

**Figura 12.** Velocidad de corrosión de acuerdo al tipo de exposición.

Clase general de exposición			V <sub>corr</sub> (µm/año)	
Normal	Humedad alta	IIa	3	
	Humedad media	IIb	2	
Marina	Aérea	IIIa	20	
	Sumergida	IIIb	4	
	En zona de mareas	IIIc	50	
Con cloruros de origen diferente del medio marino			IV	20

Nota. Fuente: Ministerio de Fomento (2008).

Es importante destacar que, si se produce una pérdida de sección de la armadura o si se forman grietas en el recubrimiento de hormigón, se considera que se ha completado la etapa de propagación de la corrosión.

#### **Estimación de la vida útil residual**

Se puede estimar realizando la adición de los períodos de incubación y propagación de la corrosión.

Para el fenómeno de carbonatación se aplicarán las siguientes expresiones:

$$t_L = t_i + t_p \rightarrow$$

$$t_L = (d/K_c)^2 + \frac{80}{\emptyset} \cdot \frac{d}{V_{corr}}$$

$$t_L = (d/K_{cl})^2 + \frac{80}{\emptyset} \cdot \frac{d}{V_{corr}}$$

Completando el cálculo de la estimación de vida útil residual (Perez, 2010).

## 2.2.4 DEGRADACION POR ATAQUE DE CLORUROS

En el comité ACI.365.1R, se especifica un modelo predictivo en función al ataque de cloruros por medio de un esquema de difusión. De Vera, Climent, Viqueira, & Anton (2015) mencionan lo siguiente:

La degradación del concreto implica procesos como la difusión del cloruro, la corrosión y el agrietamiento del concreto. La difusión del cloruro es altamente no lineal y está fuertemente acoplada con otros parámetros difusivos como la temperatura y la humedad relativa. La difusión, que es el movimiento de iones de cloruro a través del concreto saturado debido a un gradiente de concentración de cloruro, se caracteriza normalmente por la segunda ley de Fick, dada por:

El resto de la vida útil de las estructuras de concreto armado se puede predecir utilizando un modelo de difusión. Donde se considera el período de incubación y que la difusión de los compuestos de cloruro es un proceso regulable en función a su velocidad.

$$C(x, t) = C_o [1 - \text{erf} (x/2(D_{cl} * t)^{1/2})]$$

donde:

$C(x, t)$ : Concentración de cloruros para una profundidad "x" luego de un tiempo t en función a concentración inicial "Co".

$D_{cl}$ : Coeficiente de difusión.

erf: función error.

Los productos de corrosión que se forman llenan inicialmente los poros de la interfaz concreto-acero antes de ejercer cualquier presión interna sobre el recubrimiento del concreto. Una relación lineal entre la presión de corrosión radial  $P_{corr}$  y el desplazamiento del concreto ( $\delta_c$ ) viene dada como:

$$\delta_c = k P_{corr} \text{ (p. 2)}$$

## 2.3 DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

Se definen los términos básicos para el presente estudio:

### Durabilidad del concreto:

La durabilidad del concreto se refiere a su capacidad para resistir el deterioro a lo largo del tiempo, incluso en condiciones ambientales adversas como exposición a químicos, cambios de temperatura y humedad. Una buena durabilidad implica que el concreto mantiene sus propiedades estructurales a lo largo de su vida útil sin degradación significativa. Se pueden emplear técnicas y aditivos específicos para mejorar esta resistencia

### Corrosión del acero de refuerzo:

La corrosión es un fenómeno que daña el acero presente en el hormigón. De acuerdo a Helene y Pereira (2003), las propiedades del concreto y la ubicación de las armaduras son factores que influyen en este fenómeno. La corrosión puede afectar a la capacidad de carga de estos componentes debido a la disminución de la sección transversal de la armadura, a la pérdida de adhesión entre el acero y el concreto y al agrietamiento del mismo. Además, puede ocasionar una delaminación del material, lo que pone en peligro la seguridad de los usuarios.

### Fenómeno de la carbonatación:

Emmons (2005) afirma que la carbonatación es el resultado de la reacción entre los gases ácidos de la atmósfera y los productos de la hidratación del cemento. La concentración de CO<sub>2</sub> en el aire es baja (0,03 %), y este gas penetra por difusión en los poros del hormigón, reaccionando con el óxido de calcio disuelto en el agua de los poros. Como resultado, la alcalinidad del hormigón disminuye a un valor de pH aproximadamente igual a 10, y el acero de refuerzo pierde su protección contra este. Cuando la capa protectora pasiva del acero se desactiva y el entorno es ácido o ligeramente alcalino, inicia la corrosión en el refuerzo.

### Ataque de cloruros:

Implica la infiltración de iones de cloruro, principalmente a través de la absorción de agua o exposición al ambiente. Estos iones comprometen la capa protectora del acero de refuerzo, desencadenando corrosión. La corrosión genera productos que expanden el acero, causando fisuras y facilitando la entrada de más cloruros. Este ciclo debilita la estructura y es especialmente crítico en entornos marinos o expuestos a sales y ciclos de hielo y deshielo. Estrategias de gestión y mitigación son esenciales para prevenir o controlar este fenómeno.

### Espesor de recubrimiento:

El recubrimiento del concreto es la capa protectora que rodea las armaduras de acero dentro de una estructura de concreto. Esta capa actúa como barrera frente a la corrosión y otros elementos ambientales adversos. Un recubrimiento adecuado es esencial para preservar la durabilidad y la integridad estructural. Si es insuficiente, las armaduras pueden verse expuestas a agentes corrosivos, comprometiendo la resistencia de la estructura. La cantidad de recubrimiento necesario se especifica en el diseño y está sujeta a estándares de construcción, siendo esencial un control preciso durante el proceso de construcción para garantizar su cumplimiento.

### Resistencia a la compresión del concreto:

Es una propiedad clave que indica la capacidad del material para soportar cargas aplicadas en dirección axial. Se mide en unidades de presión, generalmente megapascales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (psi), a través de ensayos de laboratorio en muestras cilíndricas de concreto. Factores como la proporción de mezcla, el tipo y cantidad de cemento, la relación agua-cemento y el proceso de curado influyen en esta propiedad.

### Predicción de vida útil:

La predicción de la vida útil se refiere a la estimación anticipada del período durante el cual un componente o sistema se mantendrá funcional y cumplirá con los criterios de rendimiento específicos sin requerir reparaciones o reemplazos significativos. En el contexto de la ingeniería y la construcción, este término se utiliza comúnmente para evaluar cuánto tiempo una estructura o material puede resistir las condiciones ambientales y las cargas a las que está expuesta antes de experimentar un deterioro considerable.

### Medidas de dispersión:

Son estadísticas que indican la extensión o la dispersión de un conjunto de datos. Los cuales proporcionan información sobre cuán dispersos o agrupados están los valores en torno a la media o al centro del conjunto de datos. Algunas de las medidas de dispersión más comunes son:

- **Rango:** Es la resta entre el valor más alto y el más bajo en un conjunto de datos. Nos ofrece una idea básica de cuán extendidos están los valores, pero no proporciona información detallada sobre cómo varían los datos entre esos extremos
- **Varianza:** Es la media de los cuadrados de las desviaciones de cada dato respecto a la media. Puede ser más sensible a los valores atípicos que la desviación media absoluta.
- **Desviación Estándar:** Es una medida que indica, en promedio, cuánto se desvían los valores de un conjunto de datos respecto a la media, tiene la misma unidad que los datos analizados.
- **Coefficiente de Variación:** Es una medida que compara la magnitud de la dispersión en relación con la media de los datos. Se obtiene dividiendo la desviación estándar entre la media y expresando el resultado como un porcentaje.

Estas medidas son útiles para comprender la dispersión de los datos y para comparar la variabilidad entre diferentes conjuntos de datos.

### Correlación de Pearson:

La correlación de Pearson es una medida estadística que evalúa la relación lineal entre dos variables continuas. Esta medida cuantifica la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos conjuntos de datos. La correlación de Pearson, denotada como  $r$ , varía entre -1 y 1, donde:

- $r=1$  indica una correlación perfecta positiva (ambas variables aumentan juntas linealmente).
- $r=-1$  indica una correlación perfecta negativa (una variable disminuye mientras la otra aumenta linealmente).
- $r=0$  indica que no hay una correlación lineal.

La correlación de Pearson es una medida paramétrica y asume que las variables están distribuidas de manera aproximadamente normal. También es sensible a los valores atípicos, lo que significa que la presencia de valores extremos puede afectar significativamente el valor de la correlación.

### Análisis de Varianza ANOVA:

ANOVA es un método estadístico empleado para analizar y comparar las medias de tres o más grupos independientes. Su propósito es determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los grupos, en lugar de limitarse a realizar comparaciones individuales entre pares de grupos

La idea central detrás de ANOVA es comparar la varianza entre las muestras con la varianza dentro de las muestras. Si las diferencias entre las medias son mayores de lo que se esperaría por azar, se espera que la varianza entre las muestras sea grande en comparación con la varianza dentro de las muestras.

El resultado principal de ANOVA es el valor  $F$ , que se compara con un umbral crítico para indicar si existe un nivel de significancia entre grupos. Si el valor  $F$  es lo suficientemente grande y supera el umbral crítico, se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos una de las medias es significativamente diferente de las demás.

## CAPÍTULO III: CASO DE APLICACION

El siguiente capítulo detallará los ensayos y/o pruebas que se realizaron a los componentes de hormigón armado de los edificios que se vieron afectados por la corrosión. Posteriormente, se explicará cómo se utilizaron los modelos predictivos recomendados por la Instrucción Española de Hormigón Armado EHE-08 y el American Concrete Institute ACI 365.1R para predecir el tiempo de vida útil, y luego se evaluarán los resultados.

### 3.1 DESCRIPCION DEL CASO

#### 3.1.1 ALCANCES DE LA INVESTIGACION

El alcance abarca revisar el estado de conservación y predecir la vida útil residual del modelo español y americano ante el ataque de cloruros para cada edificio. A continuación, se muestra una lista de los seis edificios en evaluación:

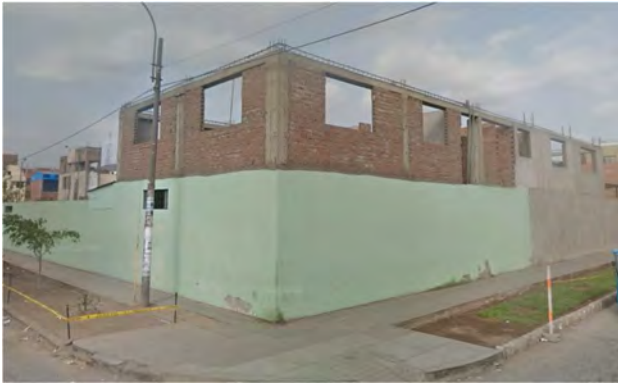
**Tabla 1.** Información de los 06 edificios inspeccionados afectados por corrosión.

ID	Descripción	Locación	N° Pisos	Área por planta (m <sup>2</sup> )	Antigüedad (*)
1	Edificio "A"	SMP	02 niveles	240	90's
2	Edificio "B"	Arequipa	Sotano	250	2019
3	Edificio "C"	Ancón	03 niveles	160	00's
4	Edificio "D"	Callao	02 niveles	185	90's
5	Edificio "E"	Huacho	01 nivel	120	90's
6	Edificio "F"	Trujillo	02 niveles	200	90's

*Nota.* (\*)La antigüedad fue estimada en función a la información brindada por el propietario, en el caso de las edificaciones A, C, D, E y F, estas fueron construidas sin una ingeniería preliminar y se desconoce si los materiales contenían un alto grado de impurezas . Fuente propia.

Los cuales han sido seleccionados por su proximidad al litoral peruano, y tener rasgos de afecciones por corrosión. La data de las edificaciones es escasa debido a que la mayoría han sido concebidas sin ingeniería ni diseño. Por lo tanto, no todos cuentan con planos, protocolos y/o documentación de la etapa constructiva.

**Figura 13.** *Vistas panorámicas de edificios inspeccionados afectados por corrosión.*



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Nota.** (a) Edificación "A"-SMP, (b) Edificación "B"-Arequipa, (c) Edificación "C"-Ancón, (d) Edificación "D"-Callao, (e) Edificación "E"-Huacho, (f) Edificación "F"-Trujillo (Fuente propia).

### 3.1.2 Actividades desarrolladas durante el estudio

En este estudio, las actividades se dividen en dos grandes categorías: labores de campo y de gabinete.

#### **Trabajos de campo**

- Transporte de recursos y equipamiento a cada edificio.
- Instalación de andamios para realizar inspecciones.
- Recolección de datos mediante un formato de levantamiento.
- Ejecución de fracturas frescas para auscultar el refuerzo de acero para calibrar su diámetro y verificar su conservación.
- Escaneo mediante rayos X en 12 elementos para identificar la distribución del acero de refuerzo.
- Extracción de 6 testigos por edificación con perforadora diamantina, siguiendo la norma NTP 339.059.
- Obtención de 12 muestras trituradas mediante una fractura fresca, cada una de aproximadamente 500 gramos.
- Ejecución de 12 pruebas cualitativas de carbonatación in situ, para evaluar la degradación del concreto, conforme a la norma ASTM-C1293.
- Reparación de las áreas intervenidas con mortero de reparación de 280 kg/cm<sup>2</sup>.
- Aplicación de pintura base blanca en las zonas de intervención.

#### **Trabajos de gabinete**

- Análisis de contenido de cloruros conforme a la norma ASTM-D512.
- Prueba de compresión de núcleos de concreto extraídos, siguiendo la NTP 339.034.

### 3.1.3 Recursos y equipamiento utilizado para estudio

**Materiales:** Mortero de reparación, cemento Portland, agregados, concreto predosificado, puente de adherencia, encofrado dimensionado, marcadores y costales.

**Herramientas:** Flexómetros, cámara fotográfica, escaleras, andamios, cinceles y puntas.

**Equipos:** Escáner detector de acero vernier analógico, equipo de carbonatación, perforadora de núcleos diamantinos, Martillo percutor, esmeriles y rotomartillos.

**Otros:** Laptop con software de ingeniería (AutoCAD y Microsoft Excel) y accesorios de escritorio.

### 3.2 DESARROLLO DEL CASO

Para el desarrollo de este caso, los aspectos de estudio se organizarán en torno a los seis edificios afectados por corrosión. Cada edificio será analizado de manera individual, permitiendo una evaluación detallada de las condiciones específicas.

#### 3.2.1 Influencia del medio ambiente

El entorno ambiental juega un papel clave, ya que se deben considerar factores como la humedad relativa, la temperatura, la presencia de agentes corrosivos y las condiciones de exposición según la ubicación de los edificios.

Las edificaciones analizadas, situadas en la costa peruana, están localizadas a aproximadamente 5 km del océano Pacífico. En esta región, la temperatura promedio fluctúa entre los 19°C y 25°C, y la humedad relativa generalmente supera el 80%. (Ver tablas desde el N° 2 al 7)

**Tabla 2.** Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio A – (Estación San Martín de Porres)

<b>AÑO 2023</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
ENERO	19.5	83.1
FEBRERO	19.1	84
MARZO	19	83.3
ABRIL	19.5	80.2
MAYO	20.1	81.9
JUNIO	20.7	76.34
JULIO	21.6	72.58
AGOSTO	22	75.42
SETIEMBRE	20.4	84.4
OCTUBRE	21.1	84.4
NOVIEMBRE	21.3	86.5
<b>PROMEDIO</b>	<b>20.39</b>	<b>81.10</b>

**Tabla 3.** Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio B – (Estación La Joya)

<b>AÑO 2023</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
ENERO	21.7	74.9
FEBRERO	22.3	74.1
MARZO	19.6	81.7
ABRIL	22	71.9
MAYO	20.9	77
JUNIO	21.8	76.7
JULIO	21.2	76.7
AGOSTO	19.2	78.7
SETIEMBRE	19.7	86.3
OCTUBRE	19.8	78.6
NOVIEMBRE	19.4	75.2
<b>PROMEDIO</b>	<b>20.69</b>	<b>77.44</b>

**Tabla 4.** Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio C – (Estación Antonio Raymondi)

<b>AÑO 2023</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
ENERO	22.9	82
FEBRERO	22.7	79
MARZO	21.7	88
ABRIL	22.1	81
MAYO	21.7	83
JUNIO	20	91
JULIO	20.9	90
AGOSTO	21.6	82
SETIEMBRE	20.9	85
OCTUBRE	21.1	80
NOVIEMBRE	21.5	82
<b>PROMEDIO</b>	<b>21.55</b>	<b>83.91</b>

**Tabla 5.** Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio D – (Estación Campo de Marte)

<b>AÑO 2023</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
ENERO	18.6	88.1
FEBRERO	17.9	91.2
MARZO	18.9	84.4
ABRIL	17.3	100
MAYO	18.8	89.4
JUNIO	20.1	79.87
JULIO	19.5	86.7
AGOSTO	19.4	94.4
SETIEMBRE	20.4	87.1
OCTUBRE	19.3	100
NOVIEMBRE	22.3	79.82
<b>PROMEDIO</b>	<b>19.32</b>	<b>89.18</b>

**Tabla 6.** Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio E – (Estación UNFJ)

<b>AÑO 2023</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
ENERO	23.1	89.4
FEBRERO	22.6	88.7
MARZO	22.4	90.6
ABRIL	22.8	88.8
MAYO	22.4	88.9
JUNIO	23.1	87.1
JULIO	23.4	89.1
AGOSTO	23.2	90.2
SETIEMBRE	22.2	90.6
OCTUBRE	21.7	94.2
NOVIEMBRE	22.5	91.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>22.67</b>	<b>89.95</b>

**Tabla 7.** Datos de temperatura y humedad relativa para Edificio F – (Estación Trujillo)

<b>AÑO 2023</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>
ENERO	23.7	82.7
FEBRERO	22.9	83.1
MARZO	24.1	79.3
ABRIL	23.45	86.7
MAYO	24	83.1
JUNIO	22.65	81.4
JULIO	23.2	81.8
AGOSTO	24.2	77.9
SETIEMBRE	24.4	76.3
OCTUBRE	22.5	81.2
NOVIEMBRE	22.25	80.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>23.40</b>	<b>81.31</b>

*Nota.* Se extrajeron los datos de las estaciones más cercanas a la ubicación de las edificaciones inspeccionadas, considerando un promedio por mes del año 2023. Fuente: Senamhi (2023).

### 3.2.2 Auscultación de la estructura

Para obtener los parámetros necesarios era indispensable realizar auscultaciones en los elementos seleccionados, como la medición del espesor del recubrimiento de concreto y la calibración del acero de refuerzo.

**Equipamiento:** Escáner de rayos X, vernier analógico, martillo percutor, flexómetro y marcadores.

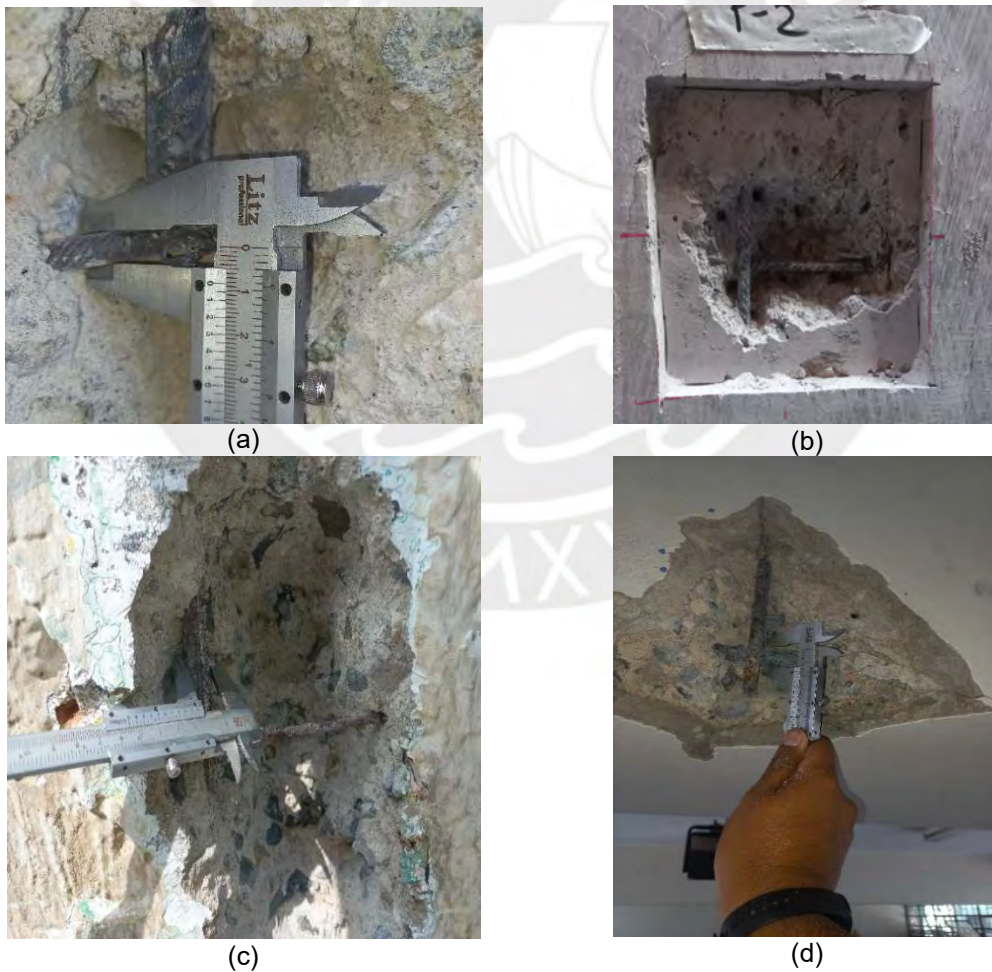
**Figura 14.** Equipamiento utilizado para la etapa de auscultacion.



Nota. Fuente propia.

**Procedimiento:** Se inicia delimitando el área de trabajo y limpiando el elemento estructural de residuos. Luego, se usa un detector de armaduras calibrado para escanear el refuerzo en dos direcciones: vertical para identificar estribos y horizontal para el refuerzo longitudinal. Finalmente, se registran y documentan las lecturas obtenidas.

**Figura 15.** Escaneo preliminar en elementos de edificios inspeccionados afectados por corrosion.





(e)



(f)

Nota. (a) Edificación “A”-SMP, (b) Edificación “B”-Arequipa, (c) Edificación “C”-Ancón, (d) Edificación “D”-Callao, (e) Edificación “E”-Huacho, (f) Edificación “F”-Trujillo (Fuente propia).

Se efectúan fracturas frescas localizadas en cada elemento, con dimensiones aproximadas de 30x30 cm, abarcando la intersección del refuerzo longitudinal y transversal. Posteriormente, se mide el espesor del recubrimiento in situ utilizando un flexómetro. Finalmente, se calibra el diámetro del acero de refuerzo con un vernier para confirmar que no ha habido reducción en su sección, y se registran las lecturas obtenidas. Se muestran los resultados desde la Tabla N°8 al 13.

**Tabla 8.** Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio A – SMP.

N°	Elemento	r(mm)	Diámetro (mm)	
			Tipo	(Ø) in-situ
1	COLUMNA D-1	45.00	Longitudinal	16.24
2	COLUMNA D-2	38.00	Longitudinal	15.51
3	VIGA D-3	42.00	Longitudinal	15.90
4	COLUMNA D-4	48.00	Longitudinal	16.02
5	COLUMNA D-5	50.00	Longitudinal	16.02
6	VIGA D-6	40.00	Longitudinal	15.90
7	COLUMNA D-7	42.00	Longitudinal	16.02
8	COLUMNA D-8	42.00	Longitudinal	16.02
9	COLUMNA D-9	48.00	Longitudinal	15.56
10	VIGA D-10	39.00	Longitudinal	15.50
11	VIGA D-11	41.00	Longitudinal	16.09
12	VIGA D-12	40.00	Longitudinal	15.80

**Tabla 9.** *Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio B – AREQUIPA.*

N°	Elemento	r(mm)	Diámetro (mm)	
			Tipo	(Ø) in-situ
1	MURO D-1	37.00	Longitudinal	12.17
2	MURO D-2	32.00	Longitudinal	12.46
3	MURO D-3	33.00	Longitudinal	12.85
4	MURO D-4	35.00	Longitudinal	12.58
5	MURO D-5	30.00	Longitudinal	12.58
6	MURO D-6	29.00	Longitudinal	12.55
7	MURO D-7	35.00	Longitudinal	12.11
8	MURO D-8	37.00	Longitudinal	12.55
9	MURO D-9	33.00	Longitudinal	11.87
10	MURO D-10	31.00	Longitudinal	11.86
11	MURO D-11	36.00	Longitudinal	12.64
12	MURO D-12	35.00	Longitudinal	12.37

**Tabla 10.** *Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio C – ANCON.*

N°	Elemento	r(mm)	Diámetro (mm)	
			Tipo	(Ø) in-situ
1	COLUMNA D-1	51.00	Longitudinal	15.64
2	COLUMNA D-2	52.00	Longitudinal	15.74
3	COLUMNA D-3	55.00	Longitudinal	15.44
4	COLUMNA D-4	57.00	Longitudinal	15.50
5	VIGA D-5	39.00	Longitudinal	12.90
6	VIGA D-6	36.00	Longitudinal	12.20
7	COLUMNA D-7	48.00	Longitudinal	15.48
8	COLUMNA D-8	50.00	Longitudinal	15.08
9	COLUMNA D-9	51.00	Longitudinal	16.24
10	COLUMNA D-10	57.00	Longitudinal	15.41
11	VIGA D-11	38.00	Longitudinal	12.72
12	VIGA D-12	42.00	Longitudinal	12.28

**Tabla 11.** *Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio D – CALLAO.*

N°	Elemento	r(mm)	Diámetro (mm)	
			Tipo	(Ø) in-situ
1	COLUMNA D-1	37.00	Longitudinal	16.10
2	COLUMNA D-2	47.00	Longitudinal	16.02
3	COLUMNA D-3	43.00	Longitudinal	16.00
4	VIGA D-4	41.00	Longitudinal	18.31
5	VIGA D-5	46.00	Longitudinal	19.63
6	VIGA D-6	44.00	Longitudinal	20.02
7	COLUMNA D-7	42.00	Longitudinal	15.27
8	COLUMNA D-8	38.00	Longitudinal	15.72
9	COLUMNA D-9	45.00	Longitudinal	15.69
10	VIGA D-10	42.00	Longitudinal	19.81
11	VIGA D-11	45.00	Longitudinal	19.61
12	VIGA D-12	43.00	Longitudinal	19.90

**Tabla 12.** *Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio E – HUACHO.*

N°	Elemento	r(mm)	Diámetro (mm)	
			Tipo	(Ø) in-situ
1	COLUMNA D-1	43.00	Longitudinal	12.04
2	COLUMNA D-2	43.00	Longitudinal	11.92
3	COLUMNA D-3	37.00	Longitudinal	12.19
4	VIGA D-4	42.00	Longitudinal	12.65
5	VIGA D-5	35.00	Longitudinal	12.41
6	VIGA D-6	43.00	Longitudinal	12.26
7	COLUMNA D-7	41.00	Longitudinal	12.74
8	COLUMNA D-8	42.00	Longitudinal	12.54
9	COLUMNA D-9	39.00	Longitudinal	12.27
10	VIGA D-10	37.00	Longitudinal	11.96
11	VIGA D-11	39.00	Longitudinal	12.64
12	VIGA D-12	43.00	Longitudinal	12.50

**Tabla 13.** Tabla de datos de recubrimientos y calibración de diámetros para Edificio F – TRUJILLO.

N°	Elemento	r(mm)	Diámetro (mm)	
			Tipo	(Ø) in-situ
1	COLUMNA D-1	43.00	Longitudinal	12.94
2	COLUMNA D-2	45.00	Longitudinal	12.38
3	COLUMNA D-3	41.00	Longitudinal	13.13
4	VIGA D-4	36.00	Longitudinal	12.86
5	VIGA D-5	36.00	Longitudinal	12.39
6	VIGA D-6	43.00	Longitudinal	12.70
7	COLUMNA D-7	43.00	Longitudinal	12.65
8	COLUMNA D-8	44.00	Longitudinal	13.08
9	COLUMNA D-9	44.00	Longitudinal	12.20
10	VIGA D-10	41.00	Longitudinal	12.55
11	VIGA D-11	38.00	Longitudinal	12.94
12	VIGA D-12	46.00	Longitudinal	12.52

*Nota.* Se extrajeron los datos de las inspecciones profundas in-situ. Fuente propia.



### 3.2.3 Fenómeno de degradación predominante

Se necesita identificar en fenómeno de degradación principal para el inicio de la corrosión en el presente edificio, por tal motivo se realizará los ensayos y/o pruebas correspondientes:

#### 3.2.3.1 Prueba cualitativa de carbonatación

La prueba que sigue tiene como objetivo determinar la profundidad de carbonatación en concretos que han endurecido y están en servicio. La medición de la profundidad de la capa carbonatada en el concreto se fundamenta en la reducción de la alcalinidad que resulta de la carbonatación. Esta reducción de alcalinidad se puede detectar mediante un indicador de pH, que muestra los cambios de coloración.

**Equipamiento:** Flexómetro, equipo de carbonatación (Solución de fenolftaleína al 1%), recipientes y marcadores.

**Figura 16.** Equipamiento utilizado para ensayo de carbonatación.



*Nota.* Fuente propia.

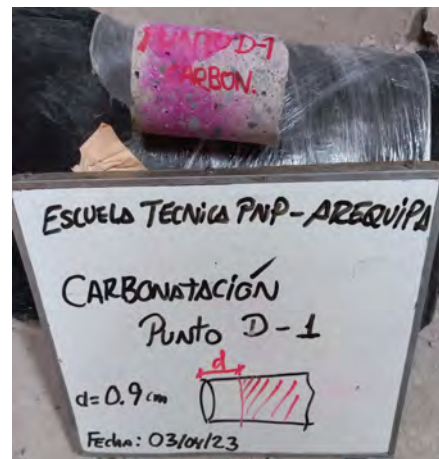
#### Procedimiento:

Una vez completada la auscultación de la estructura, que incluye la medición del recubrimiento y la calibración de las barras de acero corrugado, o tras la extracción de un testigo diamantino, se aprovecha la fractura fresca para llevar a cabo la prueba. La medición debe efectuarse sobre una superficie descontaminada y libre de partículas. Se debe aplicar el reactivo (fenolftaleína al 1%) inmediatamente tras la limpieza, asegurando que el intervalo entre ambas acciones no exceda las 24 horas.

**Figura 17.** Prueba cualitativa de carbonatación en edificios inspeccionados afectados por corrosión.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

*Nota.* (a) Edificación "A"-SMP, (b) Edificación "B"-Arequipa, (c) Edificación "C"-Ancón, (d) Edificación "D"-Callao, (e) Edificación "E"-Huacho, (f) Edificación "F"-Trujillo. Fuente propia.

El indicador (fenolftaleína al 1%) se aplica directamente sobre la fractura reciente, con la superficie de aplicación orientada hacia arriba. Posteriormente, se procede a tomar las medidas entre 15 y 30 minutos después de la aplicación del indicador.

Es importante tener en cuenta que, al aplicar el indicador, el concreto muestra diferentes colores. Se vuelve rojo-purpura para valores de pH por encima de 9.5 y se vuelve incoloro para valores por debajo de 8, lo que indica concreto carbonatado. Para valores comprendidos entre 8 y 9.5, el color oscilará entre rosa y rojo-purpura.

Las pruebas de carbonatación se llevaron a cabo en 12 elementos estructurales durante el estudio, en áreas aparentemente no afectadas por corrosión. A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de carbonatación en los elementos estructurales inspeccionados de cada edificio desde la Tabla N° 14 al 19.

**Tabla 14. Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio A (SMP)**

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	r (mm)	d (mm)	d* (mm)	CONDICION AMBIENTAL
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	30/03/2023	45.00	30.00	15.00	INTERIOR
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	30/03/2023	38.00	25.00	13.00	INTERIOR
3	VIGA D-3	NIVEL 2	30/03/2023	42.00	42.00	0.00	INTERIOR
4	COLUMNA D-4	NIVEL 2	30/03/2023	48.00	29.00	19.00	EXTERIOR
5	COLUMNA D-5	NIVEL 2	30/03/2023	50.00	34.00	16.00	EXTERIOR
6	VIGA D-6	NIVEL 1	30/03/2023	40.00	39.00	1.00	EXTERIOR
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	30/03/2023	42.00	32.00	10.00	INTERIOR
8	COLUMNA D-8	NIVEL 1	30/03/2023	42.00	27.00	15.00	INTERIOR
9	COLUMNA D-9	NIVEL 2	30/03/2023	48.00	29.00	19.00	INTERIOR
10	VIGA D-10	NIVEL 1	30/03/2023	39.00	30.00	9.00	INTERIOR
11	VIGA D-11	NIVEL 2	30/03/2023	41.00	35.00	6.00	EXTERIOR
12	VIGA D-12	NIVEL 3	30/03/2023	40.00	40.00	0.00	INTERIOR

**Tabla 15. Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio B (AREQUIPA)**

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	r (rmm)	d (mm)	d* (mm)	CONDICION AMBIENTAL
1	MURO D-1	NIVEL 1	3/04/2023	37.00	9.00	28.00	INTERIOR
2	MURO D-2	NIVEL 1	3/04/2023	32.00	14.00	18.00	INTERIOR
3	MURO D-3	NIVEL 1	3/04/2023	33.00	8.50	24.50	INTERIOR
4	MURO D-4	NIVEL 1	3/04/2023	35.00	7.80	27.20	INTERIOR
5	MURO D-5	NIVEL 1	3/04/2023	30.00	5.40	24.60	INTERIOR
6	MURO D-6	NIVEL 1	3/04/2023	29.00	9.40	19.60	INTERIOR
7	MURO D-7	NIVEL 1	3/04/2023	35.00	6.20	28.80	INTERIOR
8	MURO D-8	NIVEL 1	3/04/2023	37.00	9.40	27.60	INTERIOR
9	MURO D-9	NIVEL 1	3/04/2023	33.00	7.10	25.90	INTERIOR
10	MURO D-10	NIVEL 1	3/04/2023	31.00	8.20	22.80	INTERIOR
11	MURO D-11	NIVEL 1	3/04/2023	36.00	11.40	24.60	INTERIOR
12	MURO D-12	NIVEL 1	3/04/2023	35.00	14.30	20.70	INTERIOR

**Tabla 16. Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio C (ANCON)**

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	r (mm)	d (mm)	d* (mm)	CONDICION AMBIENTAL
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	25/05/2023	51.00	35.00	16.00	EXTERIOR
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	25/05/2023	52.00	40.00	12.00	EXTERIOR
3	COLUMNA D-3	NIVEL 1	25/05/2023	55.00	38.00	17.00	EXTERIOR
4	COLUMNA D-4	NIVEL 1	25/05/2023	57.00	48.00	9.00	EXTERIOR
5	VIGA D-5	NIVEL 1	25/05/2023	39.00	45.00	-	EXTERIOR
6	VIGA D-6	NIVEL 1	25/05/2023	36.00	40.00	-	EXTERIOR
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	25/05/2023	48.00	42.00	6.00	INTERIOR
8	COLUMNA D-8	NIVEL 1	25/05/2023	50.00	30.00	20.00	INTERIOR
9	COLUMNA D-9	NIVEL 1	25/05/2023	51.00	39.00	12.00	INTERIOR
10	COLUMNA D-10	NIVEL 1	25/05/2023	57.00	33.00	24.00	INTERIOR
11	VIGA D-11	NIVEL 1	25/05/2023	38.00	29.00	9.00	INTERIOR
12	VIGA D-12	NIVEL 1	25/05/2023	42.00	44.00	-	INTERIOR

**Tabla 17. Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio D (CALLAO).**

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	r (mm)	d (mm)	d* (mm)	CONDICION AMBIENTAL
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	5/06/2023	37.00	22.00	15.00	INTERIOR
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	5/06/2023	47.00	20.00	27.00	INTERIOR
3	COLUMNA D-3	NIVEL 2	5/06/2023	43.00	18.50	24.50	INTERIOR
4	VIGA D-4	NIVEL 1	5/06/2023	41.00	19.00	22.00	INTERIOR
5	VIGA D-5	NIVEL 2	5/06/2023	46.00	21.00	25.00	INTERIOR
6	VIGA D-6	NIVEL 2	5/06/2023	44.00	9.00	35.00	INTERIOR
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	5/06/2023	42.00	24.00	18.00	INTERIOR
8	COLUMNA D-8	NIVEL 2	5/06/2023	38.00	29.00	9.00	INTERIOR
9	COLUMNA D-9	NIVEL 2	5/06/2023	45.00	32.00	13.00	INTERIOR
10	VIGA D-10	NIVEL 1	5/06/2023	42.00	19.00	23.00	INTERIOR
11	VIGA D-11	NIVEL 1	5/06/2023	45.00	19.00	26.00	INTERIOR
12	VIGA D-12	NIVEL 2	5/06/2023	43.00	28.00	15.00	INTERIOR

**Tabla 18. Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio E (HUACHO)**

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	r (mm)	d (mm)	d* (mm)	CONDICION AMBIENTAL
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	17/05/2023	43.00	44.00	-	INTERIOR
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	17/05/2023	43.00	43.00	0.00	INTERIOR
3	COLUMNA D-3	NIVEL 1	17/05/2023	37.00	44.00	-	INTERIOR
4	COLUMNA D-4	NIVEL 1	17/05/2023	42.00	40.00	2.00	INTERIOR
5	VIGA D-5	NIVEL 1	17/05/2023	35.00	39.00	-	INTERIOR
6	VIGA D-6	NIVEL 1	17/05/2023	43.00	38.00	5.00	INTERIOR
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	17/05/2023	41.00	41.00	0.00	INTERIOR
8	COLUMNA D-8	NIVEL 1	17/05/2023	42.00	42.00	0.00	INTERIOR
9	COLUMNA D-9	NIVEL 1	17/05/2023	39.00	39.00	0.00	INTERIOR
10	COLUMNA D-10	NIVEL 1	17/05/2023	37.00	43.00	-	INTERIOR
11	VIGA D-11	NIVEL 1	17/05/2023	39.00	44.00	-	INTERIOR
12	VIGA D-12	NIVEL 1	17/05/2023	43.00	40.00	3.00	INTERIOR

**Tabla 19.** Mediciones de profundidad de carbonatación para Edificio F (TRUJILLO).

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	r (mm)	d (mm)	d* (mm)	CONDICION AMBIENTAL
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	20/06/2023	43.00	31.00	12.00	INTERIOR
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	20/06/2023	45.00	27.00	18.00	INTERIOR
3	COLUMNA D-3	NIVEL 2	20/06/2023	41.00	38.00	3.00	INTERIOR
4	VIGA D-4	NIVEL 1	20/06/2023	36.00	35.00	1.00	INTERIOR
5	VIGA D-5	NIVEL 2	20/06/2023	36.00	33.00	3.00	INTERIOR
6	VIGA D-6	NIVEL 2	20/06/2023	43.00	27.50	15.50	INTERIOR
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	20/06/2023	43.00	32.00	11.00	INTERIOR
8	COLUMNA D-8	NIVEL 2	20/06/2023	44.00	38.00	6.00	INTERIOR
9	COLUMNA D-9	NIVEL 2	20/06/2023	44.00	37.50	6.50	INTERIOR
10	VIGA D-10	NIVEL 1	20/06/2023	41.00	29.00	12.00	INTERIOR
11	VIGA D-11	NIVEL 1	20/06/2023	38.00	30.00	8.00	INTERIOR
12	VIGA D-12	NIVEL 2	20/06/2023	46.00	28.00	18.00	INTERIOR

*Nota.* Se extrajeron los datos de la prueba cualitativa de carbonatación, donde: “r” es el recubrimiento del concreto, “d” es la profundidad del concreto carbonatado y “d\*” es el recubrimiento por incubar. Fuente propia.

### 3.2.3.2 **Ensayo de Contenido de cloruros**

El siguiente ensayo tiene como objetivo medir la concentración total de cloruros, tanto solubles como insolubles, en un concreto que ya ha endurecido y está en servicio.

**Equipamiento:** Martillo percutor, marcadores y recipientes.

**Figura 18.** Equipamiento utilizado para extracción de muestras de concreto.

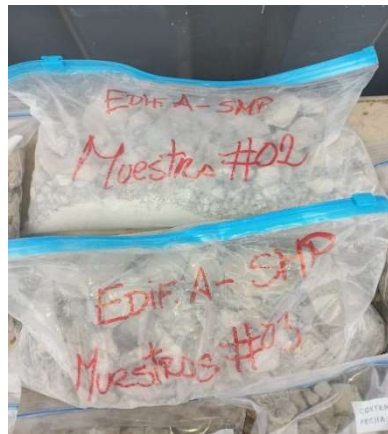


*Nota.* Fuente propia.

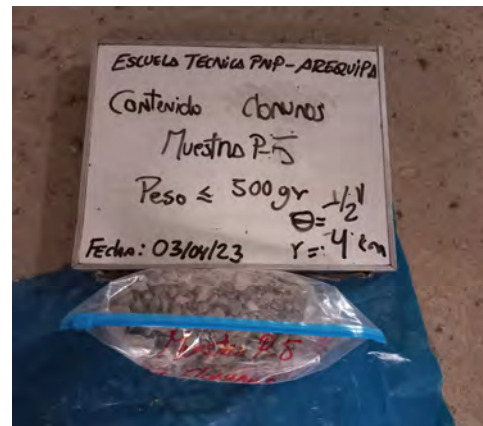
#### **Procedimiento:**

Para la extracción de la muestra, es esencial obtenerla directamente del elemento analizado, garantizando su representatividad. Esto se realiza mediante un picado localizado en una sección libre de residuos y sin signos de deterioro visible. Se recolectan aproximadamente 500 gramos del material, que se envía al laboratorio para un análisis químico detallado.

**Figura 19.** Extracción de muestras para contenido de cloruros en edificios inspeccionados afectados por corrosión.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Nota.** (a) Edificación "A"-SMP, (b) Edificación "B"-Arequipa, (c) Edificación "C"-Ancón, (d) Edificación "D"-Callao, (e) Edificación "E"-Huacho, (f) Edificación "F"-Trujillo. Fuente propia.

### Evaluación de resultados:

De acuerdo al capítulo 04 sección 4.4.1 de la norma técnica peruana E0.60: “...Para la protección contra la corrosión del refuerzo de acero en el concreto, las concentraciones máximas de iones cloruro solubles en agua en el concreto endurecido a edades que van de 28 a 42 días, provenientes de los ingredientes (incluyendo agua, agregados, materiales cementantes y aditivos) no deben exceder los límites de la Tabla 4.5. Cuando se lleven a cabo ensayos para determinar el contenido de iones cloruro solubles en agua, los procedimientos de ensayo deben cumplir los requisitos establecidos en la NTP 334.148...”

**Tabla 20.** Contenido máximo de cloruros en función al porcentaje del peso del cemento.

Tipo de elemento	Contenido máximo de iones de cloruro solubles en agua en el concreto (porcentaje en peso del cemento)
Concreto presforzado	0,06
Concreto armado que en servicio estará expuesto a cloruros	0,15
Concreto armado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1,00
Otras construcciones de concreto armado	0,30

*Nota.* Valores extraídos de la norma técnica peruana de concreto armado E.060. Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2006)

Se procede a determinar el contenido de cloruros en porcentaje respecto al peso del cemento utilizando la fórmula siguiente:

$$C_c(\% \text{ peso de cemento}) = C_s(\% \text{ peso de concreto}) * (2300 / \text{Contenido de cemento})$$

Donde:

$C_s$ : Concentración indicada como porcentaje en peso de concreto.,  $C_c$ : Concentración expresada como porcentaje en peso de cemento (Perez, 2010).

La concentración crítica de cloruros ( $C_{th}$ ) debe ser establecida según las consideraciones específicas de la estructura en estudio tal como se muestra en la tabla 20. De los ensayos realizados en el laboratorio se obtuvieron los siguientes datos, estos se muestran en las tablas del N°20 al 25:

**Tabla 21.** *Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio A (SMP)*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	Cs en concreto (ppm)
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	5/04/2023	655.00
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	5/04/2023	421.00
3	VIGA D-3	NIVEL 2	5/04/2023	772.00
4	COLUMNA D-4	NIVEL 2	5/04/2023	799.00
5	COLUMNA D-5	NIVEL 2	5/04/2023	714.00
6	VIGA D-6	NIVEL 1	5/04/2023	450.00
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	5/04/2023	534.00
8	COLUMNA D-8	NIVEL 1	5/04/2023	813.00
9	COLUMNA D-9	NIVEL 2	5/04/2023	684.00
10	VIGA D-10	NIVEL 1	5/04/2023	682.00
11	VIGA D-11	NIVEL 2	5/04/2023	699.00
12	VIGA D-12	NIVEL 3	5/04/2023	494.00

**Tabla 22.** *Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio B (AREQUIPA)*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	Cs en concreto (ppm)
1	MURO D-1	NIVEL 1	17/04/2023	325.00
2	MURO D-2	NIVEL 1	17/04/2023	1006.00
3	MURO D-3	NIVEL 1	17/04/2023	293.00
4	MURO D-4	NIVEL 1	17/04/2023	705.00
5	MURO D-5	NIVEL 1	17/04/2023	639.00
6	MURO D-6	NIVEL 1	17/04/2023	630.00
7	MURO D-7	NIVEL 1	17/04/2023	374.00
8	MURO D-8	NIVEL 1	17/04/2023	635.00
9	MURO D-9	NIVEL 1	17/04/2023	359.00
10	MURO D-10	NIVEL 1	17/04/2023	298.00
11	MURO D-11	NIVEL 1	17/04/2023	353.00
12	MURO D-12	NIVEL 1	17/04/2023	634.00

**Tabla 23.** *Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio C (ANCON)*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	Cs en concreto (ppm)
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	2/06/2023	4150.00
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	2/06/2023	1212.00
3	COLUMNA D-3	NIVEL 1	2/06/2023	2609.00
4	COLUMNA D-4	NIVEL 1	2/06/2023	1121.00
5	VIGA D-5	NIVEL 1	2/06/2023	1865.00
6	VIGA D-6	NIVEL 1	2/06/2023	4395.00
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	2/06/2023	2399.00
8	COLUMNA D-8	NIVEL 1	2/06/2023	2568.00
9	COLUMNA D-9	NIVEL 1	2/06/2023	1240.00
10	COLUMNA D-10	NIVEL 1	2/06/2023	1140.00
11	VIGA D-11	NIVEL 1	2/06/2023	2258.00
12	VIGA D-12	NIVEL 1	2/06/2023	1127.00

**Tabla 24.** *Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros– Edificio D (CALLAO).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	Cs en concreto (ppm)
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	11/06/2023	837.00
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	11/06/2023	456.00
3	COLUMNA D-3	NIVEL 2	11/06/2023	469.00
4	VIGA D-4	NIVEL 1	11/06/2023	945.00
5	VIGA D-5	NIVEL 2	11/06/2023	861.00
6	VIGA D-6	NIVEL 2	11/06/2023	456.00
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	11/06/2023	924.00
8	COLUMNA D-8	NIVEL 2	11/06/2023	866.00
9	COLUMNA D-9	NIVEL 2	11/06/2023	751.00
10	VIGA D-10	NIVEL 1	11/06/2023	934.00
11	VIGA D-11	NIVEL 1	11/06/2023	825.00
12	VIGA D-12	NIVEL 2	11/06/2023	811.00

**Tabla 25.** *Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio E (HUACHO)*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	Cs en concreto (ppm)
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	23/05/2023	449.00
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	23/05/2023	705.00
3	COLUMNA D-3	NIVEL 1	23/05/2023	416.00
4	COLUMNA D-4	NIVEL 1	23/05/2023	696.00
5	VIGA D-5	NIVEL 1	23/05/2023	695.00
6	VIGA D-6	NIVEL 1	23/05/2023	600.00
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	23/05/2023	520.00
8	COLUMNA D-8	NIVEL 1	23/05/2023	408.00
9	COLUMNA D-9	NIVEL 1	23/05/2023	474.00
10	COLUMNA D-10	NIVEL 1	23/05/2023	659.00
11	VIGA D-11	NIVEL 1	23/05/2023	729.00
12	VIGA D-12	NIVEL 1	23/05/2023	625.00

**Tabla 26.** *Tabla de valores de prueba de contenido de cloruros – Edificio F (TRUJILLO).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA PRUEBA	Cs en concreto (ppm)
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	25/06/2023	555.00
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	25/06/2023	703.00
3	COLUMNA D-3	NIVEL 2	25/06/2023	634.00
4	VIGA D-4	NIVEL 1	25/06/2023	553.00
5	VIGA D-5	NIVEL 2	25/06/2023	421.00
6	VIGA D-6	NIVEL 2	25/06/2023	545.00
7	COLUMNA D-7	NIVEL 1	25/06/2023	490.00
8	COLUMNA D-8	NIVEL 2	25/06/2023	608.00
9	COLUMNA D-9	NIVEL 2	25/06/2023	735.00
10	VIGA D-10	NIVEL 1	25/06/2023	474.00
11	VIGA D-11	NIVEL 1	25/06/2023	660.00
12	VIGA D-12	NIVEL 2	25/06/2023	502.00

*Nota.* Se extrajeron los datos de la prueba de contenido de cloruros en sales solubles, donde: "Cs" es la concentración de cloruros en la superficie del concreto, expresada en ppm en peso de concreto. Fuente propia.

### 3.2.4 Calidad del concreto

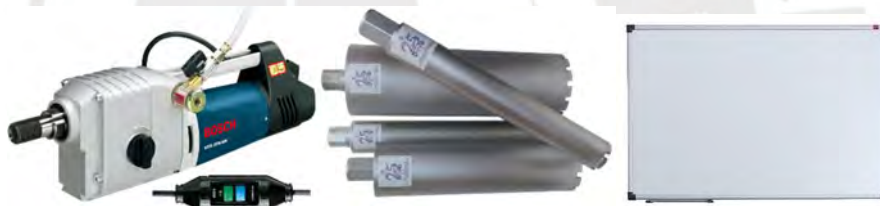
Se busca determinar la calidad del concreto endurecido y puesto en servicio, para lo cual se recurre a la obtención de la resistencia a la compresión mediante dos ensayos: extracción de corazones diamantinos y compresión de corazones diamantinos.

#### 3.2.4.1 Extracción de corazones diamantinos

El objetivo del siguiente ensayo es obtener una muestra de concreto endurecido para analizar sus propiedades mecánicas, con especial énfasis en la evaluación de su resistencia a la compresión.

**Equipamiento:** Perforadora de núcleos diamantinos, escáner de rayos X, tanque de agua, rotomartillos, accesorios de fijación y marcadores.

**Figura 20.** *Equipamiento utilizado para la extracción de testigos diamantinos.*



*Nota.* Fuente propia.

**Procedimiento:** Se lleva a cabo un escaneo preliminar para determinar la disposición del acero de refuerzo y evitar su afectación durante la extracción. Este procedimiento se realiza utilizando un detector de armaduras mediante rayos X, el cual debe ser calibrado. El escaneo se efectúa en primer lugar en la orientación vertical para identificar el refuerzo transversal, seguido de un escaneo en la dirección horizontal para localizar el refuerzo longitudinal. Las lecturas obtenidas se registran y documentan adecuadamente.

**Figura 21.** Fijacion y perforacion para extraccion en edificios inspeccionados afectados por corrosion.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Nota. (a) Edificación "A"-SMP, (b) Edificación "B"-Arequipa, (c) Edificación "C"-Ancón, (d) Edificación "D"-Callao, (e) Edificación "E"-Huacho, (f) Edificación "F"-Trujillo. Fuente propia.

De acuerdo a la NTP 339.034 detallado por INDECOPI (2011), el testigo debe ser extraído en ángulo recto respecto a la superficie horizontal de vaciado, y debe evitarse la proximidad a juntas visibles o límites definidos del vaciado, como juntas frías o los bordes del elemento.

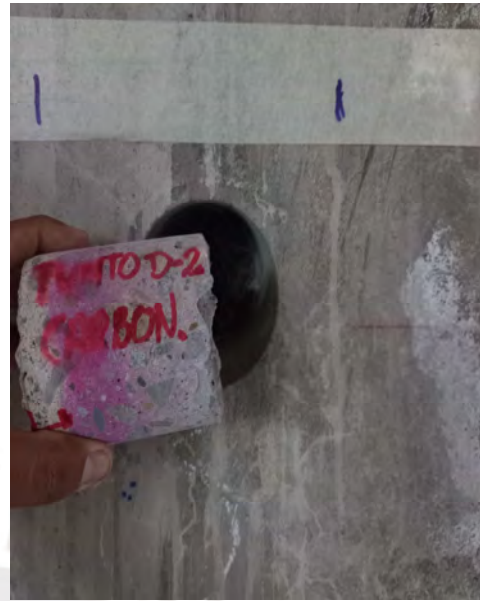
Para la evaluación de la resistencia a la compresión en elementos estructurales, el diámetro de los testigos debe ser de al menos 94 mm (3,7 pulgadas). No obstante, no está prohibido el uso de diámetros menores a 94 mm, aunque estos testigos diamantinos más pequeños tienden a ser más sensibles a la relación longitud/diámetro (L/D). En el caso de los edificios inspeccionados, se extrajeron muestras con un diámetro de 75 mm utilizando una broca diamantada de 3 pulgadas.

A continuación, se realiza la perforación necesaria para instalar el perno de expansión. A partir de ahí, se fija el equipo perforador de núcleos al elemento estructural. Finalmente, se emplea una broca diamantada de 3 pulgadas para extraer el testigo diamantado.

**Figura 22.** Rotulacion de extraccion de testigos diamantinos en edificios inspeccionados afectados por corrosion.



(a)



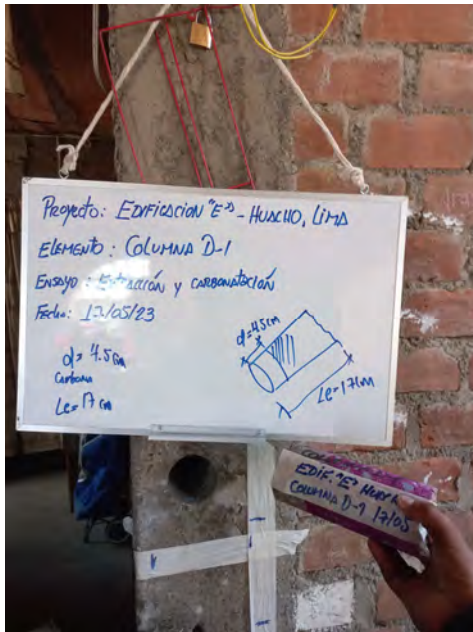
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Nota. (a) Edificación "A"-SMP, (b) Edificación "B"-Arequipa, (c) Edificación "C"-Ancón, (d) Edificación "D"-Callao, (e) Edificación "E"-Huacho, (f) Edificación "F"-Trujillo. Fuente propia.

Después de extraer los testigos diamantinos, se debe secar la superficie del testigo para eliminar el exceso de agua. Si las superficies parecen estar secas en un plazo no superior a 1 hora desde la extracción, proceder a colocar los testigos recipientes individuales y selladas con el fin de evitar la pérdida de humedad. Los testigos diamantinos deben conservarse en estas bolsas de plástico o en recipientes no absorbentes durante al menos 5 días antes de someterlos a ensayos.

### 3.2.4.2 Compresión de testigos diamantinos

El siguiente ensayo tiene como objetivo evaluar la resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) en los especímenes extraídos.

El método implica cargar las muestras con una carga axial de compresión a una velocidad normalizada dentro de un rango determinado hasta que se rompan. La resistencia a la compresión se mide dividiendo el área de la sección transversal de la probeta por la carga máxima registrada durante la prueba.

Para evaluar los resultados de las pruebas a compresión se revisan los criterios estipulados en la norma E.060 del Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2016), “...el concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado si el promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85% de  $f'c$  y ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75% de  $f'c$ ...” (p.32).

Los criterios para verificar que los resultados de las pruebas de compresión cumplen con una resistencia específica  $f'c$  están establecidos en la Norma E.060, capítulo 4, ítem 5.6.5.4, que especifica:

Los resultados obtenidos se promedian y se aplican los criterios establecidos por la norma técnica peruana vigente para verificar su conformidad con los valores especificados en el proyecto original. De no contar con las especificaciones del proyecto como este caso en particular se necesita obtener un valor representativo de los resultados obtenidos, por lo tanto, nos basaremos en los métodos expuestos en el comité ACI 562-13 y ACI 214.4R.

### **METODO I – COMITÉ ACI 562-13**

Según la norma ACI 562-13, "Especificaciones para la evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de hormigón", la resistencia característica a la compresión del concreto se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$f_{ck,is} = 0.9f_{cmis} \left[ 1 - 1.28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n}} + 0.0015 \right]$$

Donde:

V: Coeficiente de variación para el grupo de resultados obtenidos.

$k_c$ : Modificación de V de acuerdo a tabla 27. (Fernandez & Howland, 2017, p. 5)

**Tabla 27.** Valores de modificación del coeficiente de variación ( $k_c$ ).

<b>n</b>	<b><math>k_c</math></b>
2	2.4
3	1.47
4	1.28
5	1.2
6	1.15
8	1.1
10	1.08
12	1.06
16	1.05
20	1.03
25 o mas	1.02

Nota. Fuente: Fernandez & Howland (2017).

## **METODO II – COMITÉ ACI 214.4R**

El comité ACI 214.4R ofrece dos métodos para calcular  $f_{ck, is}$ : el **Método del Factor de Tolerancia** y el Método Alternativo. Primero, se debe corregir la resistencia a compresión de cada testigo ( $f_{ci, corr}$ ) utilizando los factores de corrección apropiados (ver tabla 16). Luego, se identifican los grupos de especímenes de concreto en la estructura y se revisan los valores anómalos. Finalmente, se determina la resistencia media a compresión corregida para cada grupo de especímenes  $f_{cm, is}$ , así como su desviación estándar  $S_c$  y la desviación de los factores de corrección  $S_a$ .

$$f_{cm, is} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci, corr}$$

$$S_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(f_{ci} - f_{cm, is})^2}{(n - 1)}}$$

$$S_a = f_{cm, is} \sqrt{V_{l/d}^2 + V_{dia}^2 + V_{mc}^2 + V_d^2}$$

Dado que  $n$  es el número de testigos por grupo, los valores de  $Vl/d$ ,  $Vdia$ ,  $Vmc$  y  $Vd$  se encuentran en la figura 23 y representan los factores de corrección requeridos. Si los testigos tienen distintas relaciones altura/diámetro ( $l/d$ ) se recomienda, por precaución, utilizar el valor de  $Vl/d$  correspondiente al testigo con la menor relación  $l/d$ .

Considerando el Metodo del Factor de Tolerancia donde establece que la resistencia característica a compresión para el límite inferior del percentil 10 se determina con el empleo de la siguiente ecuación:

$$f_{ck,ls} = f_{cmis} - \sqrt{(KS_c)^2 + (ZS_a)^2}$$

Los valores de  $K$  y  $Z$  se obtienen de las tablas 28 y 29, respectivamente, en función del nivel de confianza seleccionado y el número de testigos ( $n$ ). De acuerdo con los autores del método, se recomienda usar un nivel de confianza del 75% para estructuras ordinarias, del 90% para edificios importantes, y del 95% para componentes críticos de plantas nucleares. (Fernandez & Howland, 2017, p. 3)

**Tabla 28.** Valores de  $K$  para límites de tolerancia de una cola del 10%.

n	Nivel de Confianza		
	75%	90%	95%
3	2.50	4.26	6.16
4	2.13	3.19	4.16
5	1.96	2.74	3.41
6	1.86	2.49	3.01
8	1.74	2.22	2.58
10	1.67	2.06	2.36
12	1.62	1.97	2.21
15	1.58	1.87	2.07
18	1.54	1.80	1.97
21	1.52	1.75	1.90
24	1.50	1.71	1.85
27	1.49	1.68	1.81
30	1.48	1.66	1.78
35	1.46	1.62	1.73
40	1.44	1.60	1.70

*Nota.* Fuente: Fernandez & Howland (2017).

**Tabla 29.** Valores del nivel de confianza Z.

Nivel de Confianza	Z
75%	0.67
90%	1.28
95%	1.64

Nota. Fuente: Fernandez & Howland (2017).

**Figura 23.** Valores de los factores de corrección de resistencia para convertir las resistencias del núcleo en resistencias equivalentes in situ.

Factor	Mean value	Coefficient of variation V, %
<i>F<sub>ℓd</sub></i> : ℓ/d ratio <sup>‡</sup>		
As-received <sup>‡</sup>	$1 - \{0.130 - \alpha f_{core}\} \left(2 - \frac{\ell}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{\ell}{d}\right)^2$
Soaked 48 h	$1 - \{0.117 - \alpha f_{core}\} \left(2 - \frac{\ell}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{\ell}{d}\right)^2$
Air dried <sup>‡</sup>	$1 - \{0.144 - \alpha f_{core}\} \left(2 - \frac{\ell}{d}\right)^2$	$2.5 \left(2 - \frac{\ell}{d}\right)^2$
<i>F<sub>dia</sub></i> : core diameter		
50 mm (2 in.)	1.06	11.8
100 mm (4 in.)	1.00	0.0
150 mm (6 in.)	0.98	1.8
<i>F<sub>mc</sub></i> : core moisture content		
As-received <sup>‡</sup>	1.00	2.5
Soaked 48 h	1.09	2.5
Air dried <sup>‡</sup>	0.96	2.5
<i>F<sub>d</sub></i> : damage due to drilling	1.06	2.5

Nota. Fuente: Fernandez & Howland (2017).

A continuación, se muestran los  $f_{ci,corr}$  (resistencia a la compresión corregida) obtenida en el laboratorio para la aplicación de ambos métodos, estos se detallan desde la tabla N° 30 al 35.

**Tabla 30.** *Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio A (SMP).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA EXTRACCION	FECHA DE PRUEBA	$f_{ci,corr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	30/03/2023	5/04/2023	118.50
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	30/03/2023	5/04/2023	156.80
3	VIGA D-3	NIVEL 2	30/03/2023	5/04/2023	132.20
4	COLUMNA D-4	NIVEL 2	30/03/2023	5/04/2023	129.30
5	COLUMNA D-5	NIVEL 2	30/03/2023	5/04/2023	175.70
6	VIGA D-6	NIVEL 1	30/03/2023	5/04/2023	148.00

**Tabla 31.** *Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio B (AREQUIPA).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA EXTRACCION	FECHA DE PRUEBA	$f_{ci,corr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	MURO D-1	NIVEL 1	3/04/2023	15/04/2023	244.80
2	MURO D-2	NIVEL 1	3/04/2023	15/04/2023	256.00
3	MURO D-3	NIVEL 1	3/04/2023	15/04/2023	243.00
4	MURO D-4	NIVEL 1	3/04/2023	15/04/2023	212.60
5	MURO D-5	NIVEL 1	3/04/2023	15/04/2023	205.90
6	MURO D-6	NIVEL 1	3/04/2023	15/04/2023	218.50

**Tabla 32.** *Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio C (ANCON).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA EXTRACCION	FECHA DE PRUEBA	$f_{ci,corr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	25/05/2023	2/06/2023	183.70
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	25/05/2023	2/06/2023	139.01
3	COLUMNA D-3	NIVEL 1	25/05/2023	2/06/2023	124.10
4	COLUMNA D-4	NIVEL 1	25/05/2023	2/06/2023	150.90
5	VIGA D-5	NIVEL 1	25/05/2023	2/06/2023	106.80
6	VIGA D-6	NIVEL 1	25/05/2023	2/06/2023	181.00

**Tabla 33.** *Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio D (CALLAO).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA EXTRACCION	FECHA DE PRUEBA	$f_{ci,corr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	5/06/2023	11/06/2023	145.60
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	5/06/2023	11/06/2023	200.60
3	COLUMNA D-3	NIVEL 2	5/06/2023	11/06/2023	250.30
4	VIGA D-4	NIVEL 1	5/06/2023	11/06/2023	199.50
5	VIGA D-5	NIVEL 2	5/06/2023	11/06/2023	180.40
6	VIGA D-6	NIVEL 2	5/06/2023	11/06/2023	204.50

**Tabla 34.** *Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio E (HUACHO).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA EXTRACCION	FECHA DE PRUEBA	$f_{ci,corr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	17/05/2023	23/05/2023	83.70
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	17/05/2023	23/05/2023	79.10
3	COLUMNA D-3	NIVEL 1	17/05/2023	23/05/2023	74.00
4	COLUMNA D-4	NIVEL 1	17/05/2023	23/05/2023	80.30
5	VIGA D-5	NIVEL 1	17/05/2023	23/05/2023	96.80
6	VIGA D-6	NIVEL 1	17/05/2023	23/05/2023	75.60

**Tabla 35.** *Tabla de valores de compresión de testigos diamantinos – Edificio F (TRUJILLO).*

ID	ELEMENTO	UBICACIÓN	FECHA EXTRACCION	FECHA DE PRUEBA	$f_{ci,corr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	COLUMNA D-1	NIVEL 1	20/06/2023	25/06/2023	189.00
2	COLUMNA D-2	NIVEL 1	20/06/2023	25/06/2023	220.00
3	COLUMNA D-3	NIVEL 2	20/06/2023	25/06/2023	218.00
4	VIGA D-4	NIVEL 1	20/06/2023	25/06/2023	171.50
5	VIGA D-5	NIVEL 2	20/06/2023	25/06/2023	142.70
6	VIGA D-6	NIVEL 2	20/06/2023	25/06/2023	137.80

*Nota.* Se extrajeron los datos de los ensayos de resistencia a la compresión obtenidos en el laboratorio (Ver anexo), donde: " $f_{ci,corr}$ " es la resistencia a la compresión corregida. Fuente propia.

### 3.2.5 Aplicación de modelos predictivos

#### 3.2.5.1 Modelo Europeo EHE-08

De acuerdo al Anejo 9° de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), cuando la vida útil de una estructura no se alcanza debido a procesos de deterioro como la carbonatación o el ataque de cloruros, es posible estimar su vida útil residual utilizando el estado límite de durabilidad.

Se utiliza el modelo de degradación por ataque de cloruros para predecir la vida útil residual de los elementos, y se deben determinar los tiempos de incubación y propagación.

$$t_L = t_i + t_p$$

$t_i$ : Período de incubación de la corrosión.

$t_p$ : Período de propagación. (Alla, 2016, p. 58)

##### 3.2.5.1.1 Modelo de penetración de iones de cloruros

El periodo de tiempo necesario para que se produzca una concentración de cloruros  $C_{th}$  a una distancia  $d$  respecto a la superficie del hormigón puede estimarse según la fórmula  $t_i$ :

$$t_i = (d/K_{cl})^2$$

$$K_{cl} = \alpha \sqrt{12D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th}-C_b}{C_s-C_b}}\right)$$

$$D(t) = D_{(t_0)} \left(\frac{t_0}{t}\right)^n$$

Donde:

$K_{cl}$ : Coeficiente de penetración de cloruros.

$\alpha$ : factor de conversión igual a 56157.

$C_{th}$ : Concentración crítica de cloruros

$C_s$ : Concentración de cloruros en la superficie del concreto como % del peso del cemento.

$C_b$ : Contenido de cloruros aportado por las materias primas.

$D(t)$ ; Coeficiente de difusión expresado en  $\text{cm}^2/\text{s}$ .

$D(t_0)$ ; Coeficiente de difusión a la edad  $t_0$ .

$t_0$ : 0.0767

$n$ : factor de edad, puede tomarse como 0.5 si existe una falta de valores específicos obtenidos mediante ensayos sobre el hormigón de que se trate. (Alla, 2016, p. 61)

**Tabla 36.** Tabla de valores de coeficiente de difusión  $D_{(t_0)}$  ( $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )

Tipo de cemento	a/c=0.40	a/c=0.45	a/c=0.50	a/c=0.55	a/c=0.60
CEM I	8.9	10.0	15.8	19.7	25.0
CEM III/A-V	5.6	6.9	9.0	10.9	14.9
CEM III	1.4	1.9	2.8	3.0	3.4

Nota. Fuente: Alla (2016).

### 3.2.5.1.2 Cálculo del tiempo de propagación

La siguiente expresión es la ecuación propuesta por el modelo para calcular el tiempo de propagación de la corrosión:

$$t_p = \frac{80}{\emptyset} * \frac{d}{V_{corr}}$$

Donde:

$d$ : Recubrimiento en mm

$\emptyset$ : Diámetro de la barra

$V_{corr}$ : Velocidad de corrosión en  $\mu\text{m}/\text{año}$

**Tabla 37.** Tabla de valores de velocidad de corrosión según clase general de exposición.

Clase general de exposición		V <sub>corr</sub> (µm/año)	
Normal	Humedad alta	IIa	3
	Humedad media	IIb	2
	Aérea	IIIa	20
Marina	Sumergida	IIIb	4
	En zona de mareas	IIIc	50
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	20

Nota. Fuente: Alla (2016).

### 3.2.5.2 Modelo Americano ACI 365.1R

Los métodos para predecir la vida útil restante son similares a los utilizados para estructuras nuevas. Estos métodos incluyen: evaluar las condiciones del hormigón y determinar las causas de la degradación. Los dos enfoques principales son el modelo de aproximación y las medidas de corrosión.

#### 3.2.5.2.1 Medidas de aproximación

El modelo presentado por Browne (1980) emplea un enfoque de difusión para estimar la vida útil restante en estructuras de hormigón armado. Este modelo se enfoca en el período de iniciación y asume que la velocidad del proceso está controlada por la difusión de iones cloruro, teniendo en cuenta que:

- Las muestras se extraen del hormigón estructural, abarcando desde la superficie hasta la profundidad necesaria para evaluar el contenido de iones cloruro.
- Utilizando la siguiente expresión se obtienen los valores de  $C_o$  y  $D_{cl}$ :

$$C(x, t) = C_o [1 - \text{erf} (x/2(D_{cl} * t)^{1/2})]$$

Donde:

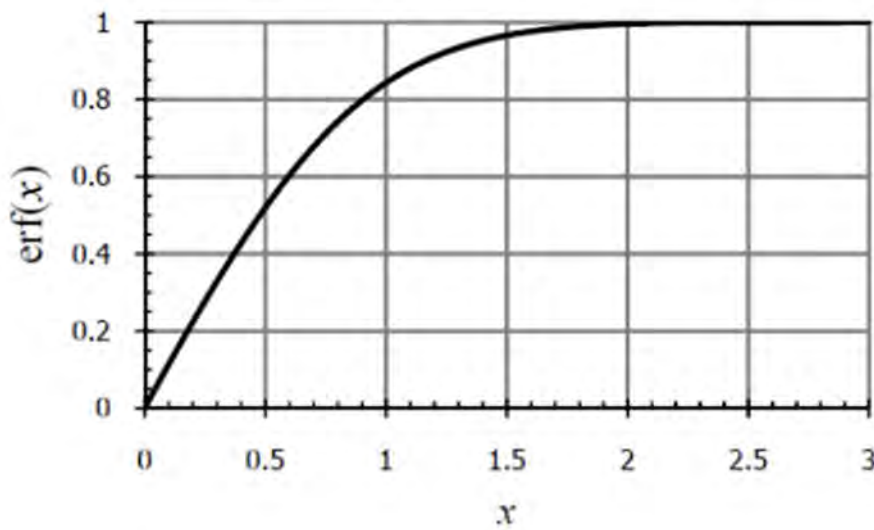
$C(x, t)$ : Concentración de cloruros para una profundidad “x” luego de un tiempo t en función a concentración inicial “Co”.

$D_{cl}$ : Coeficiente de difusión.

erf: función error.

La norma no define la función de error, pero como es constante para todos los casos, se puede utilizar la gráfica mostrada en la figura 24:

**Figura 24.** Gráfica de función error.



Nota. Fuente: Alla (2016).

**Tabla 38.** Tabla de valores de la función error.

z	erf(z)	z	erf(z)	z	erf(z)
0	0	0.55	0.5633	1.3	0.934
0.025	0.0282	0.6	0.6039	1.4	0.9523
0.05	0.0564	0.65	0.642	1.5	0.9661
0.1	0.1125	0.7	0.6778	1.6	0.9763
0.15	0.168	0.75	0.7112	1.7	0.9838
0.2	0.2227	0.8	0.7421	1.8	0.9891
0.25	0.2763	0.85	0.7707	1.9	0.9928
0.3	0.3286	0.9	0.797	2	0.9953
0.35	0.3794	0.95	0.8209	2.2	0.9981
0.4	0.4284	1	0.8427	2.4	0.9993
0.45	0.4755	1.1	0.8802	2.6	0.9998
0.5	0.5205	1.2	0.9103	2.8	0.9999

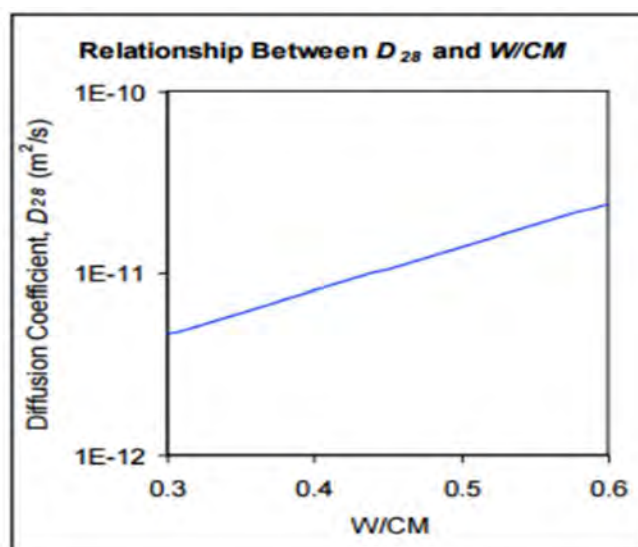
Nota. Fuente: Alla (2016).

Para calcular el coeficiente de difusión de cloruro, se utiliza la segunda ley de Fick, que se ajusta con el tiempo:

$$D(t) = D_{(28)} \left( \frac{t_{28}}{t} \right)^m$$

Donde:  $D(t)$ : Coeficiente de difusión en el tiempo  $t$ .  $t_{28}$ : 0.0767.

**Figura 25.** Grafica de relación entre la relación a/c y  $D_{(28)}$ .



Nota. Fuente: Alla (2016).

### 3.2.5.2.2 Medidas de la corrosión

La densidad de corrosión se emplea para estimar la vida útil del hormigón armado cuando la corrosión es el principal factor de degradación. Rodríguez y Andrade (1990) desarrollaron un modelo que usa la densidad de corriente de corrosión para calcular el tiempo restante de vida útil, enfocándose en la reducción de la sección del acero en lugar de la fisuración y/o delaminación del concreto. La pérdida de sección se relaciona con:

$$\theta(t) = \theta_i - 0.023 * i_{corr} * t$$

Dónde:

- $\theta(t)$  = diámetro del refuerzo en función al tiempo, en milímetros
- $\theta_i$  = diámetro inicial, expresado en milímetros.
- $i_{corr}$  = grado de corrosión, expresado en  $\mu A/cm^2$ .
- $t$  = periodo de propagación.
- 0.023 = factor de conversión.

Clear (1989) sugirió usar la relación entre el grado constante de corrosión  $i_{corr}$  y la vida útil restante, basándose en resultados de laboratorio, exposición a la intemperie y estudios de campo.

- $i_{corr} < 0.5 \mu A/cm^2$  – sin daños de corrosión esperados.
- $0.5 < i_{corr} < 2.7 \mu A/cm^2$  – daños de entre los 10 a 15 años.
- $2.7 < i_{corr} < 27 \mu A/cm^2$  – daños de entre los 2 a 10 años.
- $i_{corr} > 27 \mu A/cm^2$  – daños menores a 2 años (Alla, 2016, p. 68-70)

Según Andrade (2013), la reducción del 10% de la sección del refuerzo puede aumentar la probabilidad de fallo del elemento al del 60,67%.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE CASO

En el presente capítulo se detallarán los resultados encontrados a partir del cálculo de los modelos predictivos (EHE-08 y ACI 365.1R) donde se realizará una evaluación estadística mediante la correlación de Pearson, método ANOVA y otros parámetros significativos para fines del estudio.

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1.1 Estimación de resistencia a la compresión de los especímenes

En el ítem 3.2.4.2, se muestran las consideraciones para la evaluación de los ensayos a compresión de testigos diamantinos, a continuación, se detallan la secuencia de cálculo para cada método:

##### METODO I – COMITÉ ACI 562-13

**Paso 1:** Cálculo del " $f_{cm, is}$ ", es el promedio aritmético de los  $f_{ci, corr}$ .

$$f_{cm, is} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci, corr}$$

**Paso 2:** Cálculo del coeficiente de variación de los valores  $f_{ci, corr}$ . Mediante la siguiente expresión:

$$\text{Coeficiente de variación: } C.V. = \frac{\sigma_m}{f_{cmis}}$$

Donde:  $\sigma_m$  es la desviación estándar media.

**Paso 3:** Asignar el parámetro " $k_c$ " de acuerdo a la tabla 27, en función al número de especímenes " $n$ ".

**Paso 4:** Aplicar la expresión para el cálculo de " $f_{ck, is}$ ", es la resistencia característica promedio.

$$f_{ck, is} = 0.9 f_{cmis} \left[ 1 - 1.28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n}} + 0.0015 \right]$$

**Tabla 39.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio A (SMP).

Parámetros	Valores	Unidades
n	6.00	-
$f_{cm, is}$	143.42	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	20.92	kg/cm <sup>2</sup>
V	0.15	-
$k_c$	1.15	-
<b><math>f_{ck, is}</math></b>	<b>116.08</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 40.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio B (AREQUIPA).

Parámetros	Valores	Unidades
n	6.00	-
$f_{cm, is}$	230.13	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	20.39	kg/cm <sup>2</sup>
V	0.09	-
$k_c$	1.15	-
<b><math>f_{ck, is}</math></b>	<b>192.05</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 41.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio C (ANCON).

Parámetros	Valores	Unidades
n	6.00	-
$f_{cm, is}$	147.59	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	30.73	kg/cm <sup>2</sup>
V	0.21	-
$k_c$	1.15	-
<b><math>f_{ck, is}</math></b>	<b>114.95</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 42.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio D (CALLAO).

Parámetros	Valores	Unidades
n	6.00	-
$f_{cm, is}$	196.82	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	34.16	kg/cm <sup>2</sup>
V	0.17	-
$k_c$	1.15	-
<b><math>f_{ck, is}</math></b>	<b>156.68</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 43.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio E (HUACHO).

Parámetros	Valores	Unidades
n	6.00	-
$f_{cm, is}$	81.58	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	8.21	kg/cm <sup>2</sup>
V	0.10	-
$k_c$	1.15	-
<b><math>f_{ck, is}</math></b>	<b>67.68</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 44.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo I en Edificio F (TRUJILLO).

Parámetros	Valores	Unidades
n	6.00	-
$f_{cm, is}$	179.83	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	35.69	kg/cm <sup>2</sup>
V	0.20	-
$k_c$	1.15	-
<b><math>f_{ck, is}</math></b>	<b>140.95</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

## **METODO II – COMITÉ ACI 214.4R**

**Paso 1:** Calculo del " $f_{cm, is}$ ", es el promedio aritmético de los  $f_{ci, corr}$ .

$$f_{cm, is} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci, corr}$$

**Paso 2:** Calculo de la desviación estándar " $S_c$ ". Mediante la siguiente expresion:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm, is})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:  $f_{ci}$  es la resistencia corregida de cada espécimen.

**Paso 3:** Cálculo de la desviación de los factores de corrección “ $S_a$ ”. Mediante la siguiente expresión:

$$S_a = f_{cm, is} \sqrt{V_{l/d}^2 + V_{dia}^2 + V_{mc}^2 + V_d^2}$$

Se deben extraer los valores de  $V_{l/d}$ ,  $V_{dia}$ ,  $V_{mc}$  y  $V_d$  en la figura 23.

- Para el factor de variación  $V_{l/d}$  que va en función a la **menor relación** ( $l/d$ ) obtenida en las tablas del 30 al 35, se aplica la siguiente expresión:

$$V_{l/d} \% = 2.5 \left( 2 - \frac{l}{d} \right)^2$$

- Para el factor  $V_{dia}$ , se adopta un diámetro de 3” o 75 mm, el cual es **cero**.
- Para el factor  $V_{mc}$ , se adopta la condición “Air dried” es decir “secado al aire”, es cual es 2.5.
- Para el factor  $V_d$ , ningún espécimen fue dañado durante la extracción, se adopta el valor de **cero**.

**Paso 4:** Asignar el parámetro de niveles de confianza “ $K$ ” y “ $Z$ ” de acuerdo a las tablas 28 y 29 , en función al número de especímenes “ $n$ ” y al tipo de estructuras inspeccionadas; para el caso de discusión todas las edificaciones pueden ser catalogadas como “ordinarias” para lo cual adoptan un nivel de confianza del 75%.

**Paso 5:** Aplicar la expresión para el cálculo de “ $f_{ck, is}$ ”, es la resistencia característica promedio.

$$f_{ck, is} = f_{cmis} - \sqrt{(KS_c)^2 + (ZS_a)^2}$$

**Tabla 45.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio A (SMP).

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Sc	20.92	kg/cm <sup>2</sup>
Sa	3.67	kg/cm <sup>2</sup>
l/d min	1.53	(Ver tabla 33)
VI/d	0.006	-
Vdia	0.00	-
Vmc	0.025	-
Vd	0.00	-
K	1.86	-
Z	0.67	-
<b>fc'k</b>	<b>104.43</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 46.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio B (AREQUIPA).

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Sc	20.39	kg/cm <sup>2</sup>
Sa	5.75	kg/cm <sup>2</sup>
l/d min	1.86	(Ver tabla 33)
VI/d	0.000	-
Vdia	0.00	-
Vmc	0.025	-
Vd	0.00	-
K	1.86	-
Z	0.67	-
<b>fc'k</b>	<b>192.00</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 47.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio C (ANCON).

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Sc	30.73	kg/cm <sup>2</sup>
Sa	3.70	kg/cm <sup>2</sup>
l/d min	1.75	(Ver tabla 33)
VI/d	0.002	-
Vdia	0.00	-
Vmc	0.025	-
Vd	0.00	-
K	1.86	-
Z	0.67	-
<b>fc'k</b>	<b>90.38</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 48.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio D (CALLAO).

Parámetros	Valores	Unidades
Sc	34.16	kg/cm <sup>2</sup>
Sa	5.19	kg/cm <sup>2</sup>
l/d min	1.42	(Ver tabla 33)
VI/d	0.008	-
Vdia	0.00	-
Vmc	0.025	-
Vd	0.00	-
K	1.86	-
Z	0.67	-
<b>fc'k</b>	<b>133.19</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 49.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio E (HUACHO).

Parámetros	Valores	Unidades
Sc	8.21	kg/cm <sup>2</sup>
Sa	2.24	kg/cm <sup>2</sup>
l/d min	1.33	(Ver tabla 34)
VI/d	0.011	-
Vdia	0.00	-
Vmc	0.025	-
Vd	0.00	-
K	1.86	-
Z	0.67	-
<b>fc'k</b>	<b>66.24</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

**Tabla 50.** Resistencia característica promedio obtenida por metodo II en Edificio F (TRUJILLO).

Parámetros	Valores	Unidades
Sc	35.69	kg/cm <sup>2</sup>
Sa	4.86	kg/cm <sup>2</sup>
l/d min	1.36	(Ver tabla 35)
VI/d	0.010	-
Vdia	0.00	-
Vmc	0.025	-
Vd	0.00	-
K	1.86	-
Z	0.67	-
<b>fc'k</b>	<b>113.37</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambos métodos, se agrupan las resistencias y sus parámetros estadísticos en la Tabla 51 y se implementa un gráfico de líneas con marcadores para evaluar la aplicabilidad de ambos métodos (Ver Figura 25) .

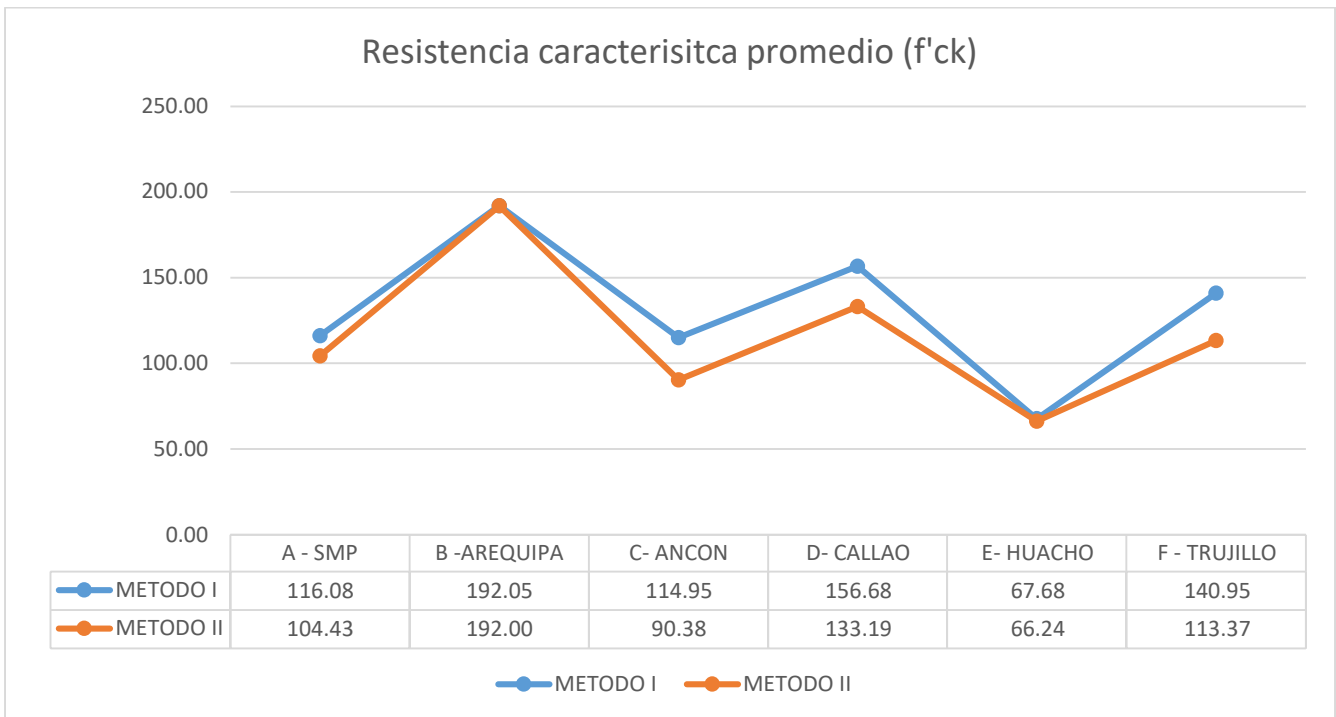
**Tabla 51.** Resultados de la estimación de la resistencia característica promedio para las edificaciones inspeccionadas.

<b>ID</b>	<b>Edificio</b>	<b>Metodo I (kg/cm2)</b>	<b>Metodo II (kg/cm2)</b>
1	A - SMP	116.08	104.43
2	B -AREQUIPA	192.05	192.00
3	C- ANCON	114.95	90.38
4	D- CALLAO	156.68	133.19
5	E- HUACHO	67.68	66.24
6	F - TRUJILLO	140.95	113.37
	Promedio	131.40	116.60
	Desv. Estándar	42.36	43.23
	<b>C.V (%)</b>	<b>32.24%</b>	<b>37.07%</b>

*Nota.* Se obtuvieron los parámetros estadísticos de promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación. Fuente Propia.

Finalmente, podemos afirmar que el método I nos brinda resultados con un coeficiente de variación (C.V %) de 5% menos que el obtenido en el método II; por lo tanto, para este caso de estudio adoptaremos los valores de resistencia característica promedio ( $f_{ck, is}$ ) del método I – Comité ACI 562-13.

**Figura 26.** Grafica de líneas con marcadores de los resultados obtenidos en ambos métodos.



Nota. Fuente Propia.

#### 4.1.2 Cálculo de concentración de cloruros en superficie de concreto

En el Ítem 3.2.3.2, se muestran las consideraciones para el cálculo de concentración de cloruros en superficies de concreto en función al % de cemento  $C_s(\%)$ , a continuación, se detalla la secuencia para la obtención del parámetro, así como la verificación del contenido crítico ( $C_{th}$ ) por cada elemento estructural inspeccionado.

**Paso 1:** Obtención de la relación agua/ cemento ( $a/c$ ) en función a la resistencia característica promedio ( $f_{ck, is}$ ).

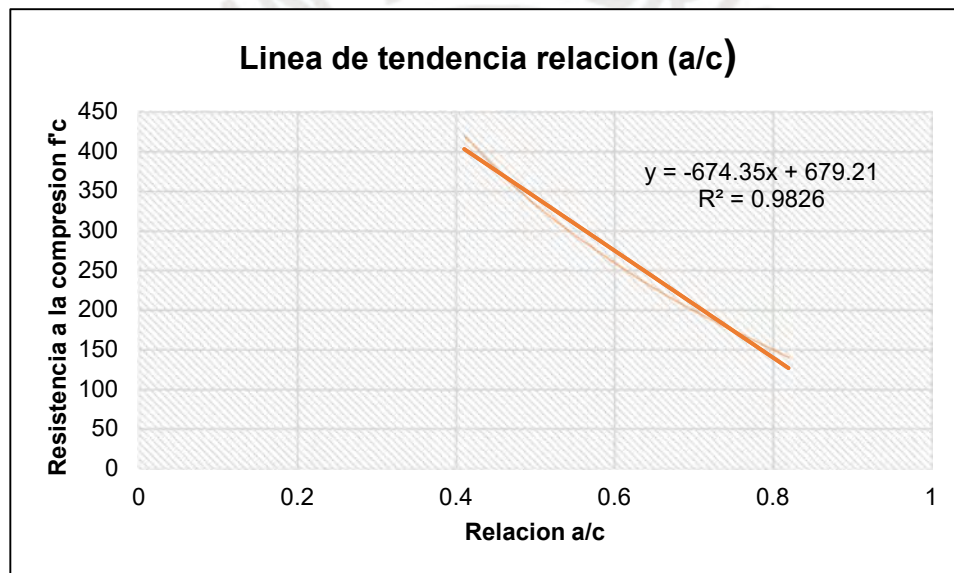
Este parámetro se obtiene de la tabla 52, donde mediante la aplicación de la ecuación de líneas de tendencia (Ver Figura 27) obtendremos los valores de relación ( $a/c$ ) para cada uno de los casos.

**Tabla 52.** Tabla de correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento (a partir del peso)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Nota. Fuente ACI Committee 211 (1991).

**Figura 27.** Grafica de línea de tendencia para valores de relación a/c vs resistencia a la compresión (f'c).



Nota. Se obtiene una ecuación de la recta para estimar la relación (a/c) desde cualquier valor de resistencia a la compresión (f'c). Fuente Propia.

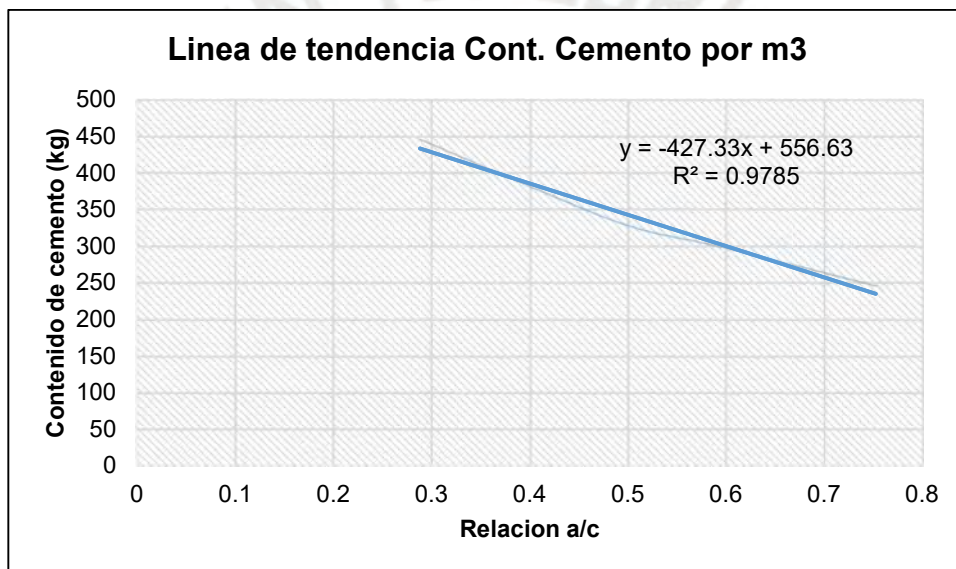
**Paso 2:** Estimación del contenido de cemento por m<sup>3</sup> de concreto mediante la tabla 53, donde se muestran diversos diseños de mezcla para diferentes tipos de relación agua/cemento. Aplicando la ecuación de líneas de tendencia, se obtendrá el valor de contenido de cemento.

**Tabla 53.** Tabla de correspondencia entre la relación agua/cemento y el contenido de cemento por m3.

No.	Cantidades en kg/m3				Relación a/c	Slump (mm)	Contenido de aire (%)
	Cemento	Agregado fino	Agregado Grueso	Agua			
1	446	752	1032	132	0.258	119	1.6
2	446	790	1083	128	0.288	89	2
3	381	784	1075	153	0.401	89	2.3
4	327	794	1088	164	0.502	94	2.1
5	297	791	1086	178	0.6	107	1.8
6	245	810	1107	185	0.753	124	1.3

Nota. Fuente Whiting (1988).

**Figura 28.** Grafica de línea de tendencia para valores de relación a/c vs contenido de cemento por m3.



Nota. Se obtiene una ecuacion de la recta para estimar el contenido de cemento por m3 para cualquier valor de relacion a/c. Fuente Propia.

**Paso 3:** Aplicar expresion para obtener la concentración de cloruros en superficies de concreto en función al % de cemento  $C_s(\%)$ .

$$C_s(\% \text{ peso de cemento}) = C_c(\% \text{ peso de concreto}) * (2300 / \text{Contenido de cemento})$$

Se agrupan los valores obtenidos de relación a/c y contenido de cemento por m3 para cada edificación en la tabla 54.

**Tabla 54.** *Tabla de resultados de relación a/c y contenido de cemento por m3.*

ID	Edificio	Relación (a/c)	Contenido de cemento por m3
1	A - SMP	0.87	184.89
2	B -AREQUIPA	0.75	235.04
3	C- ANCON	0.87	184.15
4	D- CALLAO	0.81	211.70
5	E- HUACHO	0.94	152.95
6	F - TRUJILLO	0.83	201.31

Nota. Fuente Propia.

Finalmente, se calcula la concentración de cloruros en superficies en función al peso del cemento Cc (%) para cada elemento estructural inspeccionado. Los resultados se muestran desde la tabla N° 55 al 60.

**Tabla 55.** *Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio A (SMP).*

N°	Elemento	Cc en concreto (%)	Cs en cemento (%)
1	COLUMNA D-1	0.07%	0.81%
2	COLUMNA D-2	0.04%	0.52%
3	VIGA D-3	0.08%	0.96%
4	COLUMNA D-4	0.08%	0.99%
5	COLUMNA D-5	0.07%	0.89%
6	VIGA D-6	0.05%	0.56%
7	COLUMNA D-7	0.05%	0.66%
8	COLUMNA D-8	0.08%	1.01%
9	COLUMNA D-9	0.07%	0.85%
10	VIGA D-10	0.07%	0.85%
11	VIGA D-11	0.07%	0.87%
12	VIGA D-12	0.05%	0.61%
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.80%</b>

**Tabla 56.** Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio B (AREQUIPA).

N°	Elemento	Cs en concreto (%)	Cc en cemento (%)
1	MURO D-1	0.03%	0.32%
2	MURO D-2	0.10%	0.98%
3	MURO D-3	0.03%	0.29%
4	MURO D-4	0.07%	0.69%
5	MURO D-5	0.06%	0.63%
6	MURO D-6	0.06%	0.62%
7	MURO D-7	0.04%	0.37%
8	MURO D-8	0.06%	0.62%
9	MURO D-9	0.04%	0.35%
10	MURO D-10	0.03%	0.29%
11	MURO D-11	0.04%	0.35%
12	MURO D-12	0.06%	0.62%
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.51%</b>

**Tabla 57.** Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio C (ANCON).

N°	Elemento	Cs en concreto (%)	Cc en cemento (%)
1	COLUMNA D-1	0.42%	5.18%
2	COLUMNA D-2	0.12%	1.51%
3	COLUMNA D-3	0.26%	3.26%
4	COLUMNA D-4	0.11%	1.40%
5	VIGA D-5	0.19%	2.33%
6	VIGA D-6	0.44%	5.49%
7	COLUMNA D-7	0.24%	3.00%
8	COLUMNA D-8	0.26%	3.21%
9	COLUMNA D-9	0.12%	1.55%
10	COLUMNA D-10	0.11%	1.42%
11	VIGA D-11	0.23%	2.82%
12	VIGA D-12	0.11%	1.41%
<b>PROMEDIO</b>			<b>2.71%</b>

**Tabla 58.** Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio D (CALLAO).

N°	Elemento	Cs en concreto (%)	Cc en cemento (%)
1	COLUMNA D-1	0.08%	0.91%
2	COLUMNA D-2	0.05%	0.50%
3	COLUMNA D-3	0.05%	0.51%
4	VIGA D-4	0.09%	1.03%
5	VIGA D-5	0.09%	0.94%
6	VIGA D-6	0.05%	0.50%
7	COLUMNA D-7	0.09%	1.00%
8	COLUMNA D-8	0.09%	0.94%
9	COLUMNA D-9	0.08%	0.82%
10	VIGA D-10	0.09%	1.01%
11	VIGA D-11	0.08%	0.90%
12	VIGA D-12	0.08%	0.88%
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.83%</b>

**Tabla 59.** Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio E (HUACHO).

N°	Elemento	Cs en concreto (%)	Cc en cemento (%)
1	COLUMNA D-1	0.04%	0.68%
2	COLUMNA D-2	0.07%	1.06%
3	COLUMNA D-3	0.04%	0.63%
4	COLUMNA D-4	0.07%	1.05%
5	VIGA D-5	0.07%	1.05%
6	VIGA D-6	0.06%	0.90%
7	COLUMNA D-7	0.05%	0.78%
8	COLUMNA D-8	0.04%	0.61%
9	COLUMNA D-9	0.05%	0.71%
10	COLUMNA D-10	0.07%	0.99%
11	VIGA D-11	0.07%	1.10%
12	VIGA D-12	0.06%	0.94%
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.87%</b>

**Tabla 60.** Concentración de cloruros en función al contenido del cemento Cs(%) de Edificio F (TRUJILLO).

N°	Elemento	Cs en concreto (%)	Cc en cemento (%)
1	COLUMNA D-1	0.06%	0.63%
2	COLUMNA D-2	0.07%	0.80%
3	COLUMNA D-3	0.06%	0.72%
4	VIGA D-4	0.06%	0.63%
5	VIGA D-5	0.04%	0.48%
6	VIGA D-6	0.05%	0.62%
7	COLUMNA D-7	0.05%	0.56%
8	COLUMNA D-8	0.06%	0.69%
9	COLUMNA D-9	0.07%	0.84%
10	VIGA D-10	0.05%	0.54%
11	VIGA D-11	0.07%	0.75%
12	VIGA D-12	0.05%	0.57%
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.66%</b>

#### 4.1.3 Elección de fenómeno de degradación predominante

Se evaluaron los resultados de las pruebas de carbonatación y contenido de cloruros para determinar el fenómeno de degradación predominante, lo cual es esencial para elegir el modelo predictivo apropiado.

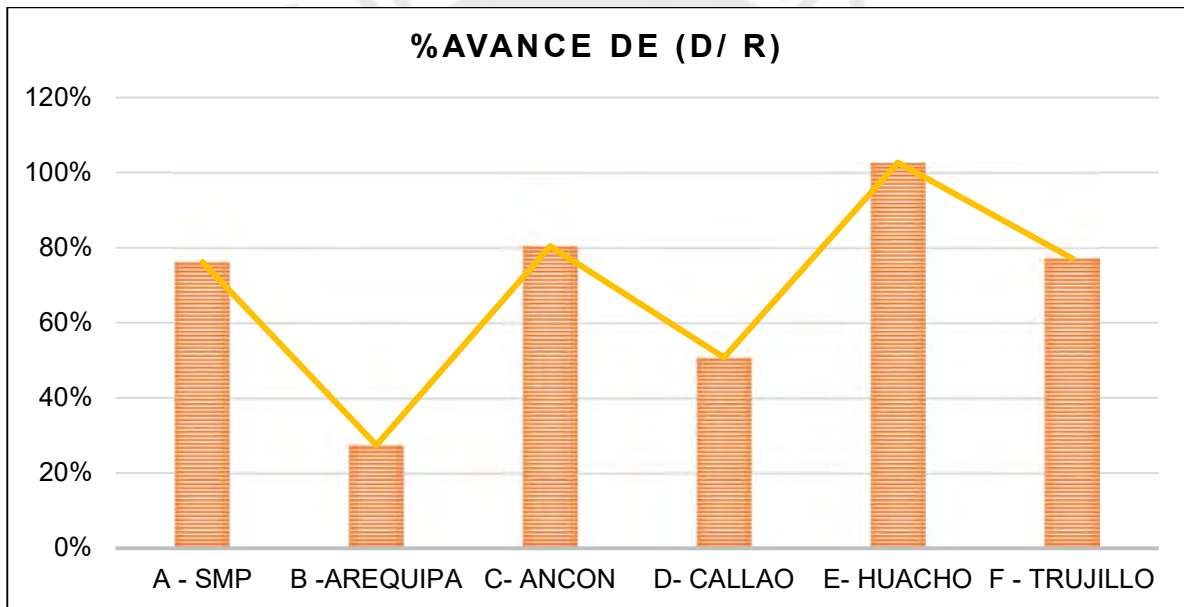
Podemos definir el nivel de degradación, basándonos en los hallazgos encontrados en los ítems 3.2.3.1 y 4.1.2:

**Tabla 61.** Nivel de degradación de los edificios evaluados.

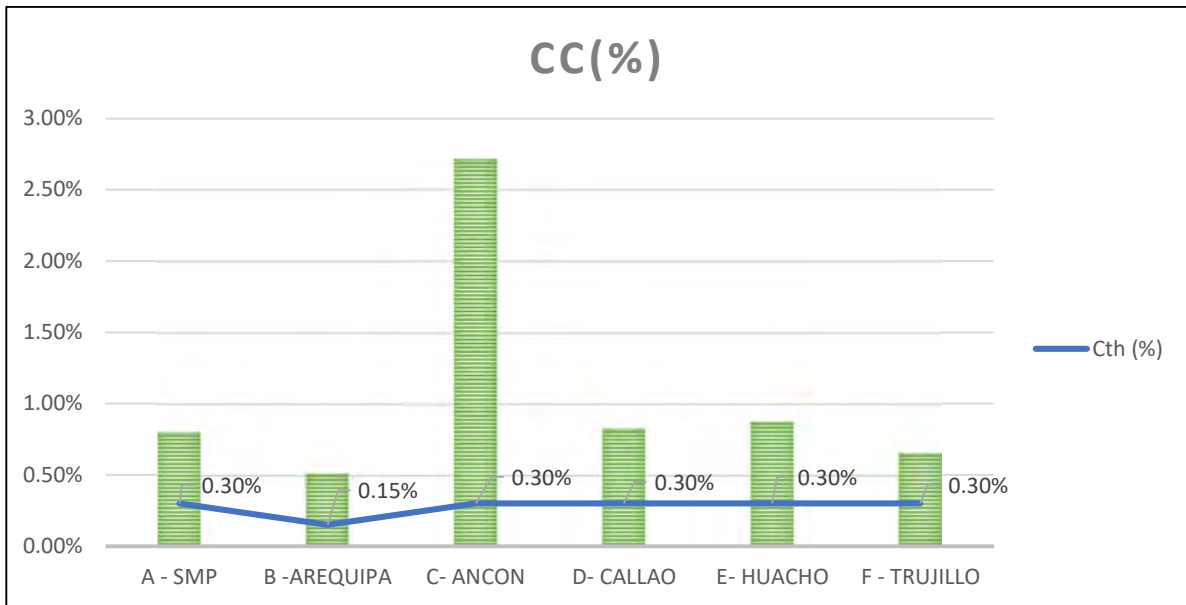
ID	Edificio	"r" promedio (mm)	"d" promedio (mm)	% Avance	Grado de CO <sub>2</sub>	Contenido de cloruros promedio Cc(%)	Contenido critico de cloruros Cth (%)	Grado de Cl <sup>-</sup>
1	A - SMP	42.92	32.67	76%	Alto	0.80%	>0.30%	Severo
2	B -AREQUIPA	33.58	9.23	27%	Bajo	0.51%	>0.15%	Alto
3	C- ANCON	48.00	38.58	80%	Alto	2.71%	>0.30%	Muy Severo
4	D- CALLAO	42.75	21.71	51%	Moderado	0.83%	>0.30%	Severo
5	E- HUACHO	40.33	41.42	103%	Severo	0.87%	>0.30%	Severo
6	F - TRUJILLO	41.67	32.17	77%	Alto	0.66%	>0.30%	Alto

Nota. Se extrajeron los datos, donde: "r" es el recubrimiento del concreto, "d" es la profundidad del concreto carbonatado, "Cc\*" es la concentración de cloruros en la superficie del concreto, expresada en % en peso de cemento y "Cth" es la concentración crítica de cloruros admitida . Fuente propia.

**Figura 29.** Grafica compuesta del %avance de carbonatacion en funcion al recubrimiento in-situ.



**Figura 30.** Grafica compuesta de barras y marcadores del Cc (%) promedio segun edificio.



Nota. Fuente Propia.

Según la tabla 61, en cuanto a la evaluación de grado de carbonatación: 4 de las 6 edificaciones inspeccionadas poseen una afección de “Alta” a “Severa” (con más del 60% de avance del fenómeno en función al espesor del recubrimiento), mientras que las edificaciones B y D poseen una afección de “Moderada” a “Baja” (con menos del 60% de avance).

Por otro lado, en cuanto a la evaluación del grado de ataque de cloruros, el 100% de las edificaciones inspeccionadas sobrepasan el límite de contenido crítico de cloruros admisibles (Ver Figura 30) según el tipo de exposición y/o uso de la estructura y poseen una afección de “Alta” a “Muy severa”.

Finalmente, podemos asumir que el fenómeno de degradación predominante para los edificios evaluados es el de ataque de cloruros (mayoría de casos severos), por lo cual los modelos predictivos escogidos son los esperados.

#### 4.1.4 Cálculo de modelos predictivos

En los ítems 3.2.5.1 y 3.2.5.2, se muestran las consideraciones necesarias de los modelos predictivos por ataque de cloruros, a continuación, se detallan la secuencia de cálculo para cada modelo:

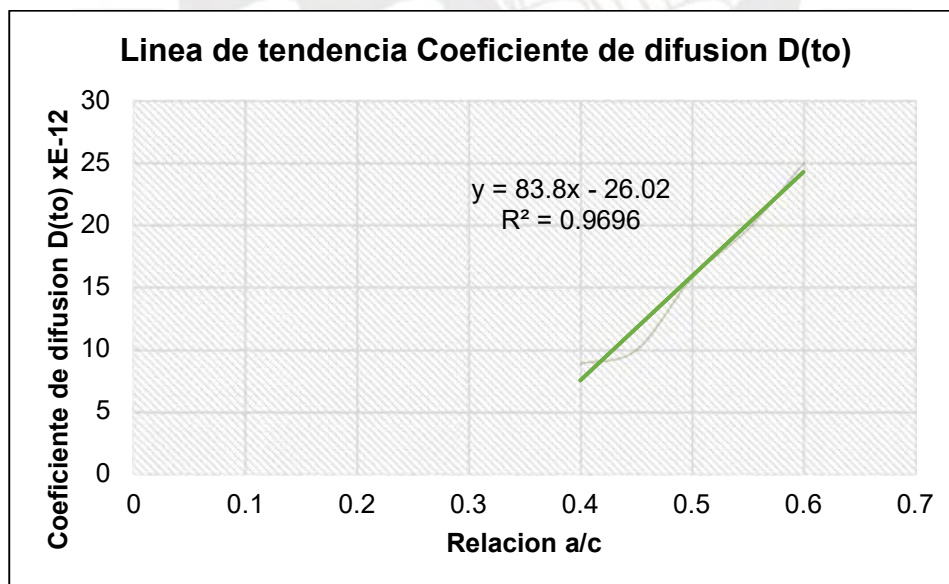
##### 4.1.4.1 MODELO EUROPEO – EHE-08

**Paso 1:** Se obtiene el coeficiente de difusión  $D(t)$ , en función a los valores adoptados en la tabla 36 para aplicar la ecuación de líneas de tendencia según Figura 29, donde se calcula el valor del coeficiente de difusión a la edad “to”  $D(t_0)$  en función a la relación a/c para cada caso (Ver Tabla 62).

$$D(t) = D_{(t_0)} \left( \frac{t_0}{t} \right)^n$$

Se adopta el valor de 0.0767 para el coeficiente “to” y el factor de edad “n” adopta el valor de 0.5. Para el tipo de recubrimientos auscultados se adopta una vida útil de 50 años, por lo tanto, el tiempo “t” será de 55 años.

Figura 31. Grafica de línea de tendencia para valores de coeficiente de difusión a la edad “to”  $D(t_0)$ .



Nota. Se obtiene una ecuación de la recta para estimar el coeficiente de difusión a la edad “to”  $D(t_0)$  para cualquier valor de relación a/c. Fuente Propia.

**Tabla 62.** Tabla de resultados de coeficientes de difusión  $D(t_0)$  y  $D(t)$ .

ID	Edificio	Relación (a/c)	Coefficiente de difusión $D(t_0)$ x E-12 (m <sup>2</sup> /s)	Coefficiente de difusión $D(t)$ x E-8 (cm <sup>2</sup> /s)
1	A - SMP	0.87	46.88	1.75
2	B -AREQUIPA	0.75	37.04	1.38
3	C- ANCON	0.87	47.02	1.76
4	D- CALLAO	0.81	41.62	1.55
5	E- HUACHO	0.94	53.14	1.98
6	F - TRUJILLO	0.83	43.66	1.63

Nota. Fuente Propia.

**Paso 2:** Se calcula el coeficiente de penetración de cloruros  $K_{cl}$ , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$K_{cl} = \alpha \sqrt{12D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th} - C_b}{C_s - C_b}}\right)$$

Donde se adopta el valor de 56157 para el factor de conversión “ $\alpha$ ” y el contenido de cloruros aportado de las materias primas  $C_b$  es cero. Desde la tabla N°55 al 61 se extraen los valores del contenido crítico  $C_{th}$  y la concentración de cloruros en superficies de concreto  $C_s$ .

**Paso 3:** Se obtiene el periodo de iniciación y/o incubación del modelo, mediante la siguiente expresión:

$$t_i = (r/K_{cl})^2$$

Donde el recubrimiento in-situ “ $r$ ” se adoptan de las tablas N° 8 al 13. A continuación se muestran los resultados de los tiempos de incubación para los casos de estudio, en las tablas del N°63 al 68.

**Paso 4:** Se obtiene el periodo de propagación del modelo, mediante la siguiente expresión:

$$t_p = \frac{80}{\emptyset} * \frac{r}{V_{corr}}$$

Donde los recubrimientos “r” y diámetros “∅” calibrados in-situ se adoptan de las tablas N° 8 al 13 y la velocidad de corrosión  $V_{corr}$  se adopta de la tabla N°37, que para todos los casos de estudio es de 20  $\mu\text{m/año}$ .

**Paso 5:** Finalmente, se calcula la predicción de la vida útil por ataque de cloruros mediante la siguiente expresión:

$$t_L = t_i + t_p$$

Los resultados se muestran desde la tabla N°63 al 68.

**Tabla 63.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio A (SMP).

N°	Elemento	Kcl	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	10.12	19.77	11.08	30.85
2	COLUMNA D-2	6.26	36.87	9.80	46.67
3	VIGA D-3	11.35	13.69	10.57	24.25
4	COLUMNA D-4	11.60	17.13	11.99	29.11
5	COLUMNA D-5	10.78	21.51	12.48	34.00
6	VIGA D-6	6.90	33.64	10.06	43.71
7	COLUMNA D-7	8.44	24.75	10.49	35.24
8	COLUMNA D-8	11.72	12.84	10.49	23.33
9	COLUMNA D-9	10.46	21.08	12.34	33.42
10	VIGA D-10	10.43	13.97	10.06	24.04
11	VIGA D-11	10.62	14.90	10.19	25.10
12	VIGA D-12	7.75	26.60	10.13	36.73

**Tabla 64.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio B (AREQUIPA).

N°	Elemento	Kcl	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	MURO D-1	7.17	26.66	12.16	38.82
2	MURO D-2	13.95	5.26	10.27	15.54
3	MURO D-3	6.33	27.17	10.27	37.44
4	MURO D-4	12.21	8.22	11.13	19.34
5	MURO D-5	11.67	6.60	9.54	16.14
6	MURO D-6	11.59	6.26	9.24	15.50
7	MURO D-7	8.23	18.08	11.56	29.64
8	MURO D-8	11.64	10.11	11.79	21.90
9	MURO D-9	7.93	17.32	11.12	28.44
10	MURO D-10	6.47	22.96	10.46	33.41
11	MURO D-11	7.80	21.29	11.39	32.68
12	MURO D-12	11.63	9.06	11.32	20.38

**Tabla 65.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio C (ANCON).

N°	Elemento	Kcl	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	19.58	6.79	13.04	19.83
2	COLUMNA D-2	14.30	13.22	13.21	26.43
3	COLUMNA D-3	17.96	9.38	14.25	23.63
4	COLUMNA D-4	13.85	16.95	14.71	31.66
5	VIGA D-5	16.53	5.57	12.09	17.66
6	VIGA D-6	19.75	3.32	11.80	15.13
7	COLUMNA D-7	17.62	7.42	12.40	19.82
8	COLUMNA D-8	17.89	7.81	13.26	21.07
9	COLUMNA D-9	14.43	12.49	12.56	25.05
10	COLUMNA D-10	13.95	16.71	14.80	31.50
11	VIGA D-11	17.37	4.79	11.95	16.74
12	VIGA D-12	13.88	9.16	13.68	22.84

**Tabla 66.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio D (CALLAO).

N°	Elemento	Kcl	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	10.32	12.85	9.19	22.04
2	COLUMNA D-2	5.38	76.31	11.74	88.05
3	COLUMNA D-3	5.64	58.05	10.75	68.80
4	VIGA D-4	11.14	13.54	8.96	22.50
5	VIGA D-5	10.52	19.13	9.37	28.50
6	VIGA D-6	5.38	66.88	8.79	75.67
7	COLUMNA D-7	10.99	14.59	11.00	25.59
8	COLUMNA D-8	10.56	12.95	9.67	22.62
9	COLUMNA D-9	9.55	22.22	11.47	33.69
10	VIGA D-10	11.07	14.41	8.48	22.89
11	VIGA D-11	10.22	19.38	9.18	28.56
12	VIGA D-12	10.10	18.12	8.64	26.76

**Tabla 67.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio E (HUACHO).

N°	Elemento	Kcl	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	9.14	22.14	14.29	36.43
2	COLUMNA D-2	12.83	11.24	14.43	25.67
3	COLUMNA D-3	8.43	19.28	12.14	31.42
4	COLUMNA D-4	12.73	10.88	13.28	24.16
5	VIGA D-5	12.72	7.57	11.28	18.85
6	VIGA D-6	11.60	13.73	14.03	27.76
7	COLUMNA D-7	10.43	15.45	12.87	28.32
8	COLUMNA D-8	8.24	25.97	13.40	39.37
9	COLUMNA D-9	9.63	16.41	12.71	29.13
10	COLUMNA D-10	12.33	9.01	12.37	21.38
11	VIGA D-11	13.07	8.91	12.34	21.25
12	VIGA D-12	11.92	13.01	13.76	26.77

**Tabla 68.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo europeo EHE-08 – Edificio F (TRUJILLO).

N°	Elemento	Kcl	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	7.75	30.75	13.29	44.05
2	COLUMNA D-2	9.66	21.71	14.54	36.25
3	COLUMNA D-3	8.85	21.44	12.49	33.94
4	VIGA D-4	7.72	21.73	11.20	32.93
5	VIGA D-5	5.22	47.52	11.62	59.14
6	VIGA D-6	7.60	32.03	13.54	45.57
7	COLUMNA D-7	6.66	41.74	13.60	55.33
8	COLUMNA D-8	8.52	26.70	13.46	40.15
9	COLUMNA D-9	9.99	19.39	14.43	33.81
10	VIGA D-10	6.35	41.67	13.07	54.74
11	VIGA D-11	9.17	17.17	11.75	28.91
12	VIGA D-12	6.87	44.77	14.70	59.47

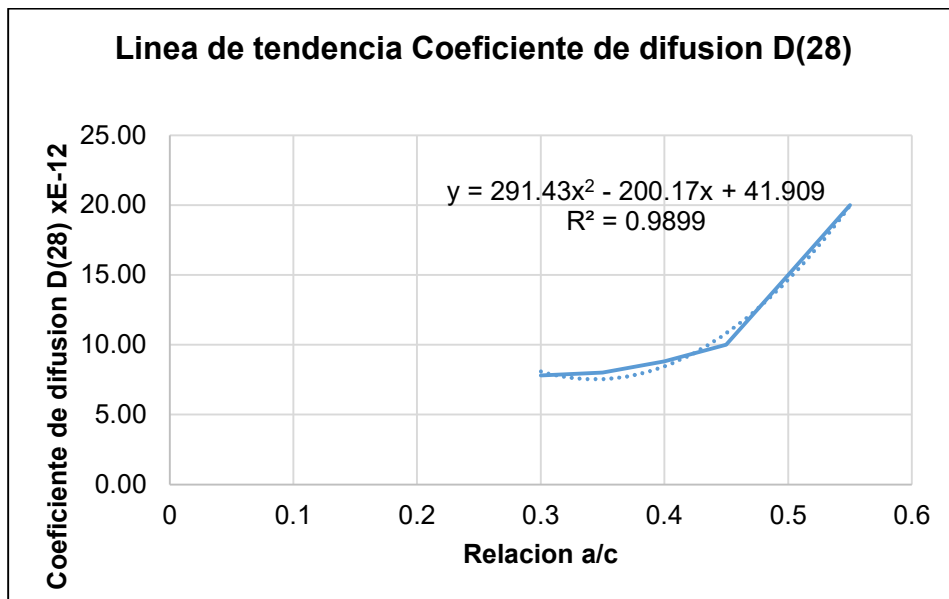
#### 4.1.4.2 MODELO AMERICANO – ACI 365.1R

**Paso 1:** Se obtiene el coeficiente de difusión  $D(t)$ , en función a los valores adoptados en la figura 25, para aplicar la ecuación polinómica de líneas de tendencia según Figura 31, donde se calcula el valor del coeficiente de difusión a la edad “ $t_{28}$ ”  $D(t_{28})$  en función a la relación a/c para cada caso.

$$D(t) = D_{(28)} \left( \frac{t_{28}}{t} \right)^m$$

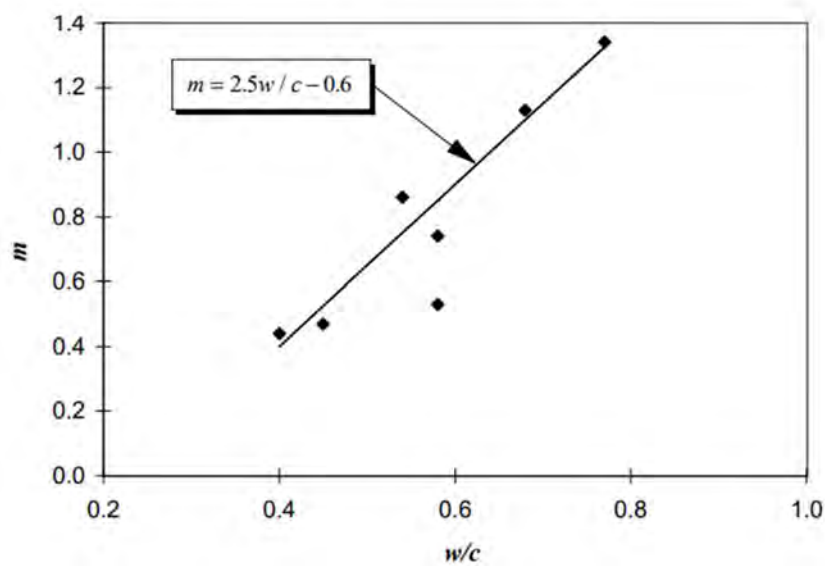
Se adopta el valor de 0.0767 para el coeficiente “ $t_{28}$ ” y el factor de edad “ $m$ ” se adopta de acuerdo a la expresión mostrada en la figura 33.

Figura 32. Grafica de línea de tendencia para valores de coeficiente de difusión a la edad “ $t_{28}$ ”  $D(t_{28})$ .



Nota. Se obtiene una ecuación de la recta para estimar el coeficiente de difusión a la edad “ $t_{28}$ ”  $D(t_{28})$  para cualquier valor de relación a/c. Fuente Propia.

Figura 33. Grafica de relación entre la relación a/c y el coeficiente “m”.



Nota. Mangat y Molloy (1994).

**Paso 2:** Se calcula el tiempo de iniciación, mediante la siguiente expresión:

$$C(x, t) = C_o [1 - \operatorname{erf} (x/2(Dcl * t)^{1/2})]$$

De la ecuación, se simplifica de tal manera que se reduzca a:

$$\frac{C(x, t) - C_o}{C_o - C_i} = \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{Dcl * t}} \right) \right]$$

Se adopta una variable “z” para reemplazar la expresión “ $\frac{x}{2\sqrt{Dcl * t}}$ ”

$$1 - \frac{C(x, t) - C_o}{C_o - C_i} = \operatorname{erf} (z)$$

Donde se aplica la función error (Ver Figura 24 y Tabla 38) , para despejar. Y así calcular el tiempo de iniciación.

$$z = \frac{x}{2\sqrt{Dcl * t}}$$

$$t = \left( \frac{x}{2z} \right)^2 * \left( \frac{1}{Dcl} \right) = \frac{x^2}{4z^2 * Dcl}$$

**Paso 3:** En esta etapa, se procede con la obtención del tiempo de propagación, mediante la siguiente expresión:

$$\theta(t) = \theta_i - 0.023 * i_{corr} * t$$

De acuerdo a lo expuesto en el ítem 3.2.5.2.2., se adoptan los siguientes grados de corrosión para cada edificación (Ver Tabla 69).

**Tabla 69.** Tabla de resultados de coeficientes de difusión  $D(28)$  e  $i_{corr}$ .

ID	Edificio	Coefficiente de difusión $D(28) \times E-12$ (m <sup>2</sup> /s)	$i_{corr}$ (µm/año)
1	A - SMP	87.69	2.70
2	B -AREQUIPA	47.97	2.70
3	C- ANCON	88.38	8.10
4	D- CALLAO	64.78	2.70
5	E- HUACHO	120.00	5.40
6	F - TRUJILLO	73.20	8.10

Nota. Fuente Propia.

**Paso 4 :** Finalmente, se calcula la predicción de la vida útil por ataque de cloruros mediante la siguiente expresión:

$$t_L = t_i + t_p$$

Los resultados se muestran desde la tabla N°70 al 75 y desde la figura N°34 al 39 .

**Tabla 70.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio A (SMP).

N°	Elemento	z	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	0.64	25.77	13.42	39.19
2	COLUMNA D-2	0.40	46.83	12.82	59.65
3	VIGA D-3	0.71	17.81	13.14	30.95
4	COLUMNA D-4	0.73	22.26	13.24	35.50
5	COLUMNA D-5	0.68	28.03	13.24	41.26
6	VIGA D-6	0.44	43.03	13.14	56.17
7	COLUMNA D-7	0.53	32.07	13.24	45.31
8	COLUMNA D-8	0.74	16.69	13.24	29.93
9	COLUMNA D-9	0.66	27.48	12.86	40.34
10	VIGA D-10	0.66	18.22	12.81	31.03
11	VIGA D-11	0.67	19.42	13.30	32.72
12	VIGA D-12	0.49	34.32	13.06	47.37

**Tabla 71.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio B (AREQUIPA).

N°	Elemento	z	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	MURO D-1	0.51	23.43	10.06	33.49
2	MURO D-2	1.01	4.43	10.30	14.73
3	MURO D-3	0.45	23.71	10.62	34.33
4	MURO D-4	0.87	7.14	10.40	17.53
5	MURO D-5	0.83	5.78	10.40	16.17
6	MURO D-6	0.83	5.48	10.37	15.85
7	MURO D-7	0.58	15.99	10.01	26.00
8	MURO D-8	0.83	8.84	10.37	19.21
9	MURO D-9	0.56	15.30	9.81	25.11
10	MURO D-10	0.46	20.05	9.80	29.85
11	MURO D-11	0.55	18.81	10.45	29.25
12	MURO D-12	0.83	7.93	10.22	18.15

**Tabla 72.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio C (ANCON).

N°	Elemento	z	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	1.27	7.97	4.31	12.27
2	COLUMNA D-2	0.91	15.61	4.34	19.95
3	COLUMNA D-3	1.18	9.32	4.25	13.57
4	COLUMNA D-4	0.88	16.75	4.27	21.02
5	VIGA D-5	1.07	11.20	3.55	14.75
6	VIGA D-6	1.28	7.85	3.36	11.22
7	COLUMNA D-7	1.16	9.69	4.26	13.95
8	COLUMNA D-8	1.17	9.39	4.15	13.54
9	COLUMNA D-9	0.92	15.30	4.47	19.77
10	COLUMNA D-10	0.89	16.50	4.24	20.74
11	VIGA D-11	1.14	9.99	3.50	13.50
12	VIGA D-12	0.88	16.67	3.38	20.05

**Tabla 73.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio D (CALLAO).

N°	Elemento	z	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	0.69	15.72	13.30	29.02
2	COLUMNA D-2	0.37	55.92	13.24	69.16
3	COLUMNA D-3	0.38	51.03	13.22	64.25
4	VIGA D-4	0.74	13.45	15.13	28.58
5	VIGA D-5	0.70	15.14	16.22	31.36
6	VIGA D-6	0.37	55.92	16.54	72.47
7	COLUMNA D-7	0.74	13.82	12.62	26.44
8	COLUMNA D-8	0.71	15.02	12.99	28.01
9	COLUMNA D-9	0.64	18.38	12.97	31.35
10	VIGA D-10	0.74	13.64	16.37	30.01
11	VIGA D-11	0.68	16.03	16.20	32.23
12	VIGA D-12	0.67	16.41	16.44	32.86

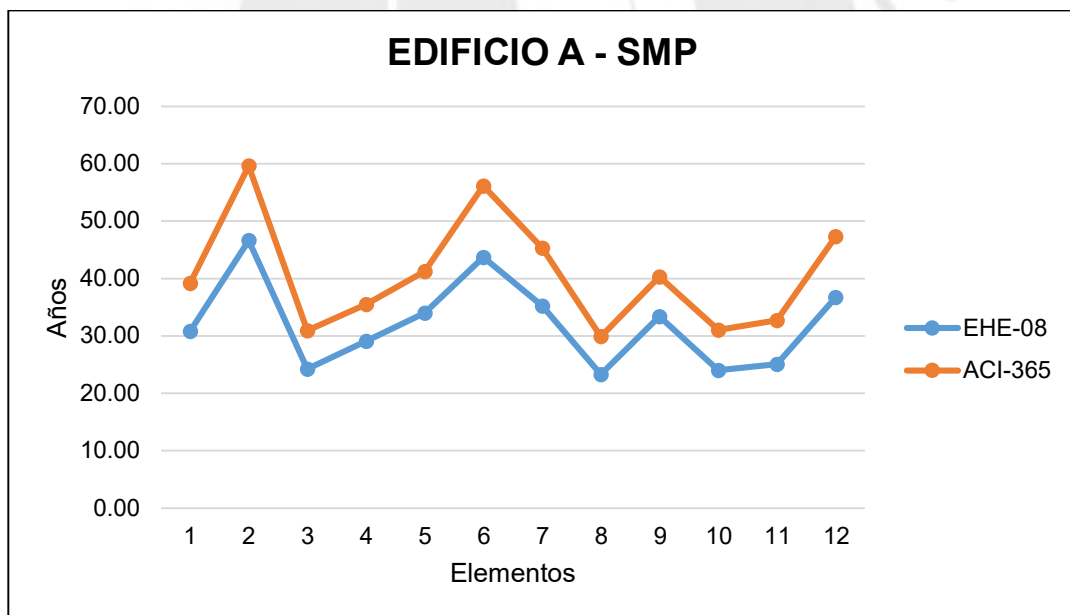
**Tabla 74.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio E (HUACHO).

N°	Elemento	z	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	0.54	33.28	4.97	38.25
2	COLUMNA D-2	0.76	16.89	4.93	21.82
3	COLUMNA D-3	0.50	38.98	5.04	44.02
4	COLUMNA D-4	0.75	17.16	5.23	22.38
5	VIGA D-5	0.75	17.19	5.13	22.31
6	VIGA D-6	0.69	20.73	5.07	25.79
7	COLUMNA D-7	0.62	25.64	5.26	30.91
8	COLUMNA D-8	0.49	40.66	5.18	45.84
9	COLUMNA D-9	0.57	30.04	5.07	35.11
10	COLUMNA D-10	0.73	18.32	4.94	23.26
11	VIGA D-11	0.77	16.24	5.22	21.46
12	VIGA D-12	0.70	19.63	5.16	24.79

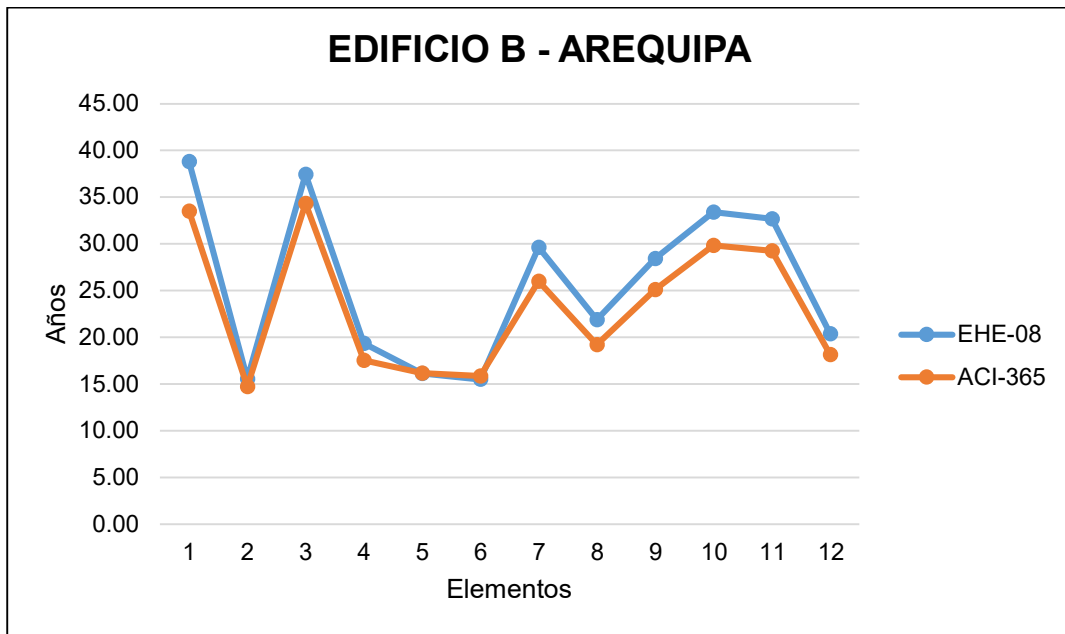
**Tabla 75.** Resultados obtenidos para el modelo predictivo americano ACI-365.1R – Edificio F (TRUJILLO).

N°	Elemento	z	Ti (años)	Tp (años)	TL (años)
1	COLUMNA D-1	0.51	29.99	3.56	33.56
2	COLUMNA D-2	0.63	19.48	3.41	22.89
3	COLUMNA D-3	0.58	23.14	3.62	26.75
4	VIGA D-4	0.51	30.23	3.54	33.77
5	VIGA D-5	0.35	64.16	3.41	67.57
6	VIGA D-6	0.50	31.21	3.50	34.71
7	COLUMNA D-7	0.44	40.27	3.48	43.75
8	COLUMNA D-8	0.56	24.99	3.60	28.59
9	COLUMNA D-9	0.65	18.22	3.36	21.58
10	VIGA D-10	0.42	44.05	3.46	47.51
11	VIGA D-11	0.60	21.60	3.56	25.17
12	VIGA D-12	0.45	37.87	3.45	41.32

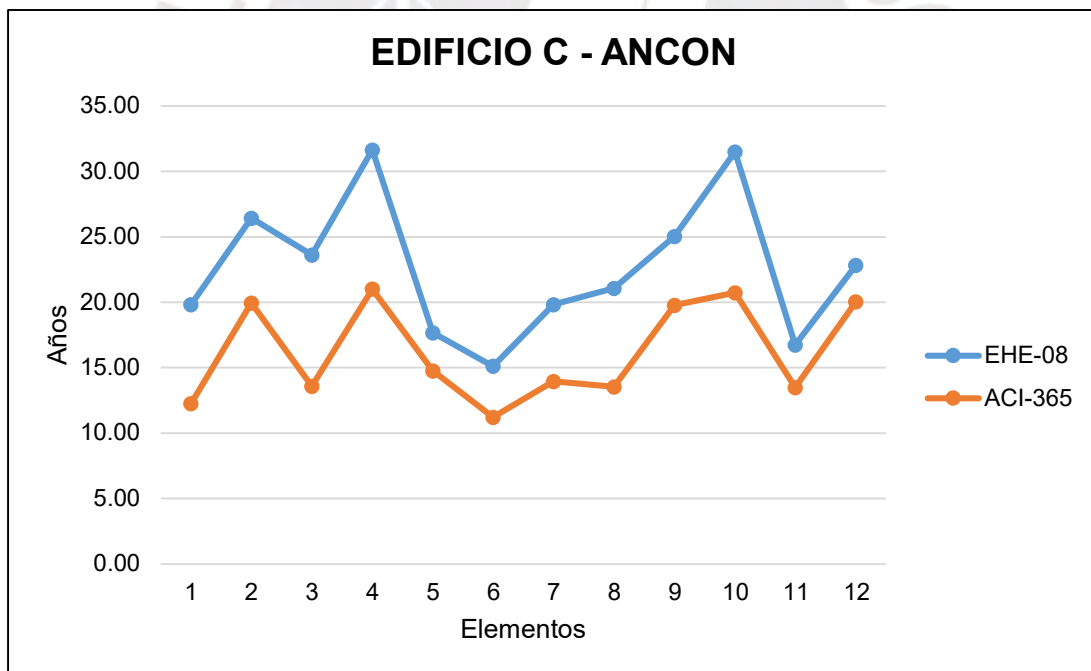
**Figura 34.** Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio A (SMP).



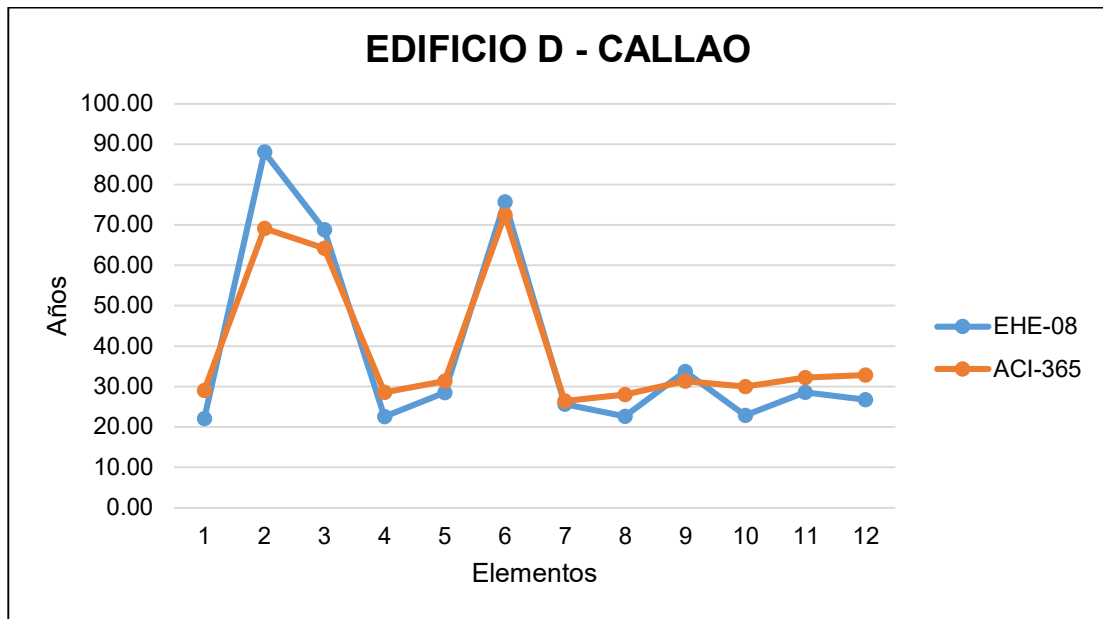
**Figura 35.** Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio B (AREQUIPA).



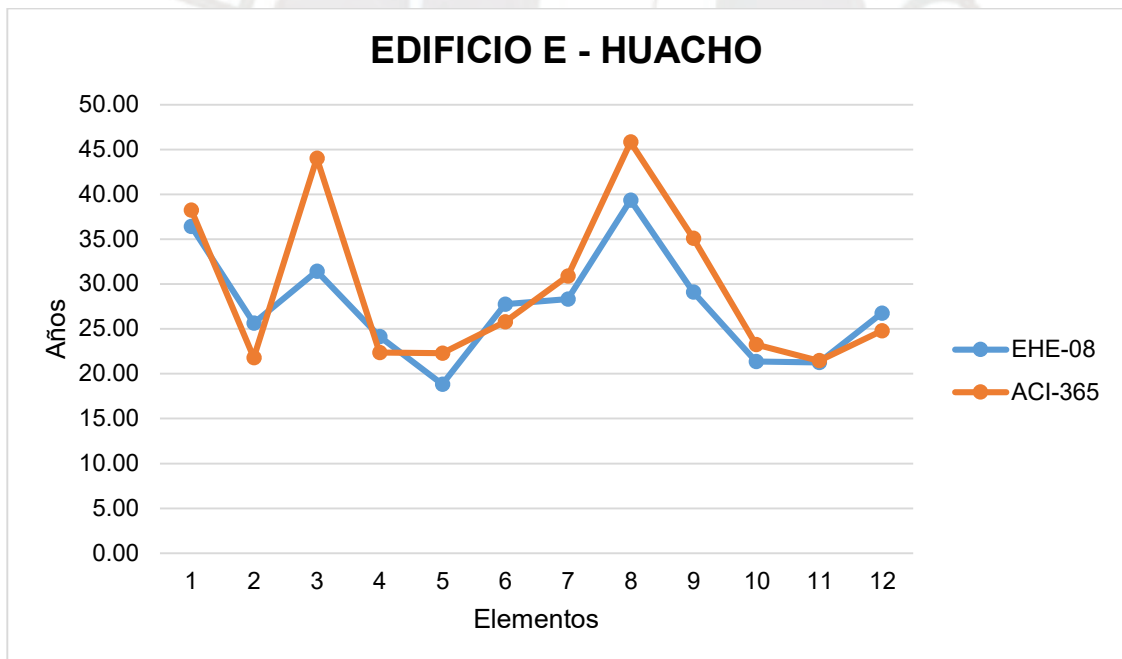
**Figura 36.** Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio C (ANCON).



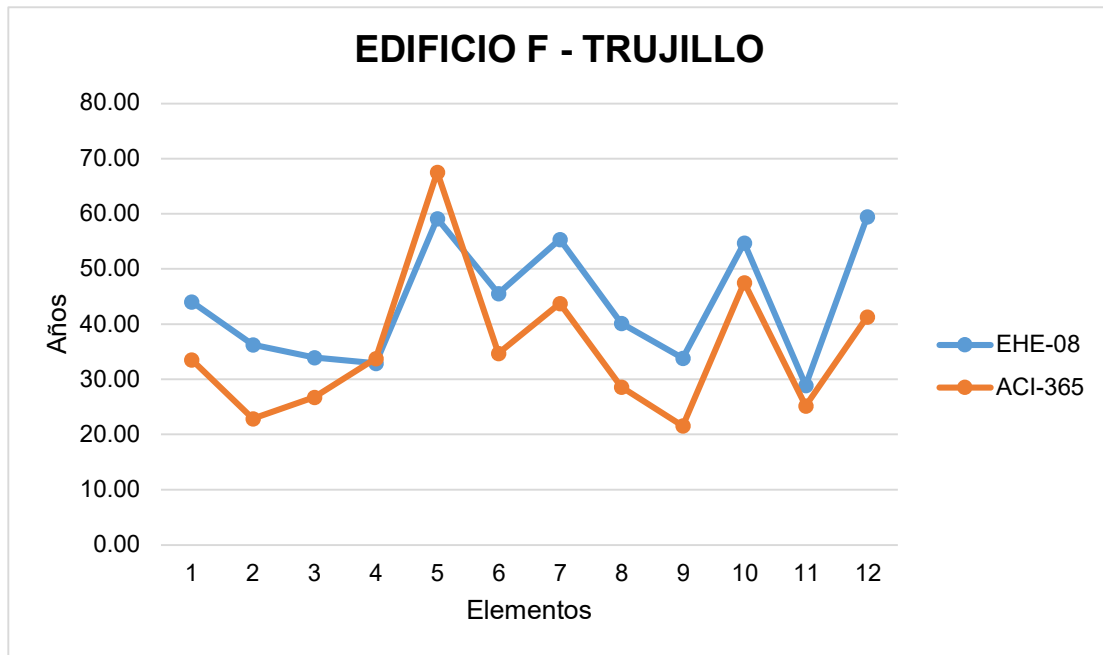
**Figura 37.** Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio D (CALLAO).



**Figura 38.** Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio E (HUACHO).



**Figura 39.** Grafica de líneas con marcadores para ambos modelos predictivos – Edificio F (TRUJILLO).



## 4.1.5 Evaluación de aplicabilidad de modelos

### 4.1.5.1 Medidas de dispersión

En el ítem 4.1.4, se brindaron los resultados de la obtención de los modelos predictivos con la normativa europea EHE-08 y la americana ACI-365. En la tabla 76, se muestra el resumen de los valores obtenidos por cada edificación en función a ciertos parámetros de medición de dispersión, tales como: promedio aritmético, desviación estándar media y coeficiente de variación.

**Tabla 76.** Resumen de valores obtenidos para los modelos predictivos (EHE-08 y ACI 365.1R)

ID	EDIFICIO	EHE-08	ACI-365	EHE-08	ACI-365	EHE-08	ACI-365	EHE-08	ACI-365
		$\bar{x}$	$\bar{x}$	R	R	$\sigma_m$	$\sigma_m$	C.V	CV
1	SMP	32.20	40.79	23.3	29.7	7.67	9.83	24%	24%
2	AREQUIPA	25.77	23.31	23.3	19.6	8.65	7.20	34%	31%
3	ANCON	22.61	16.20	16.5	9.8	5.36	3.74	24%	23%
4	CALLAO	38.81	39.65	66.0	46.0	23.94	17.66	62%	45%
5	HUACHO	27.54	29.66	20.5	24.4	6.07	8.99	22%	30%
6	TRUJILLO	43.69	35.60	30.6	46.0	11.05	13.02	25%	37%

*Nota.* De los parámetros de dispersión obtenidos serán identificados como:  $\bar{x}$  es el promedio aritmético, R es el rango de valores,  $\sigma_m$  es la desviación estándar media y C.V(%) es el coeficiente de variación. Fuente Propia.

En las figuras 40, 41 y 42, se aprecian unos gráficos de barras y líneas con marcadores de los resultados obtenidos en la tabla 76, para apreciar las características de las medidas de dispersión.

Figura 40. Grafica de columnas agrupadas para ambos modelos predictivos – Media Aritmética.

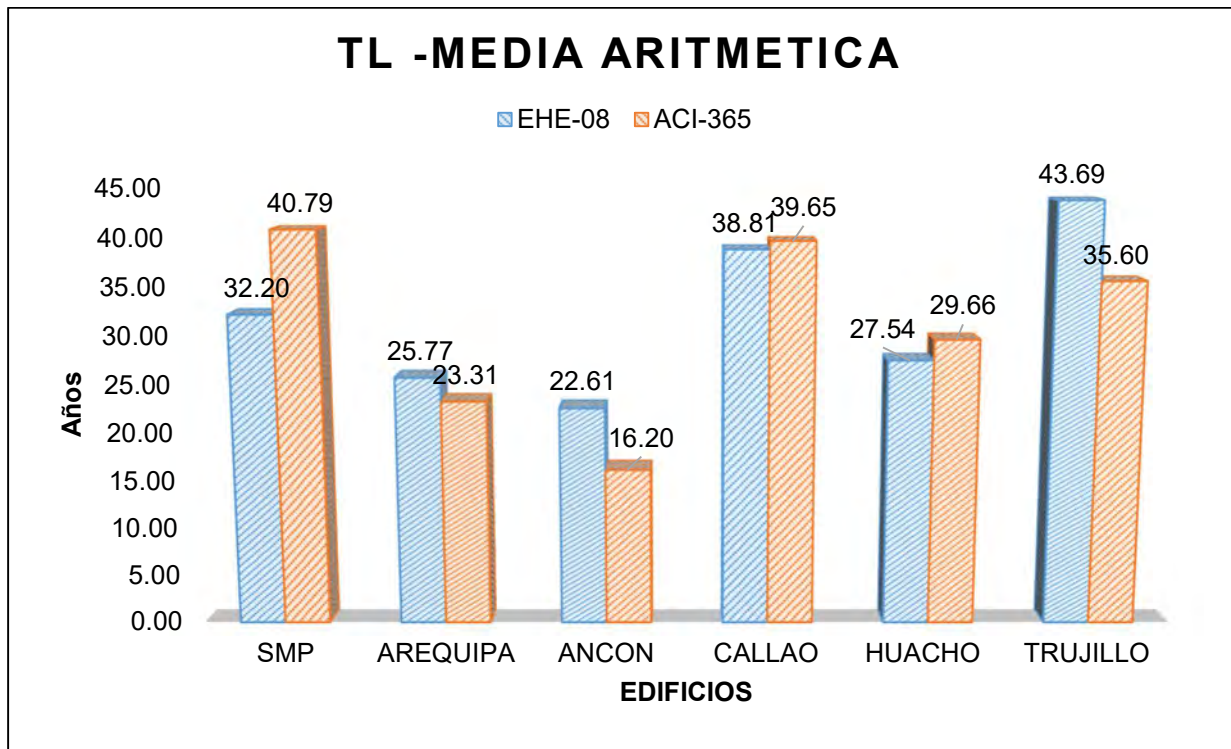
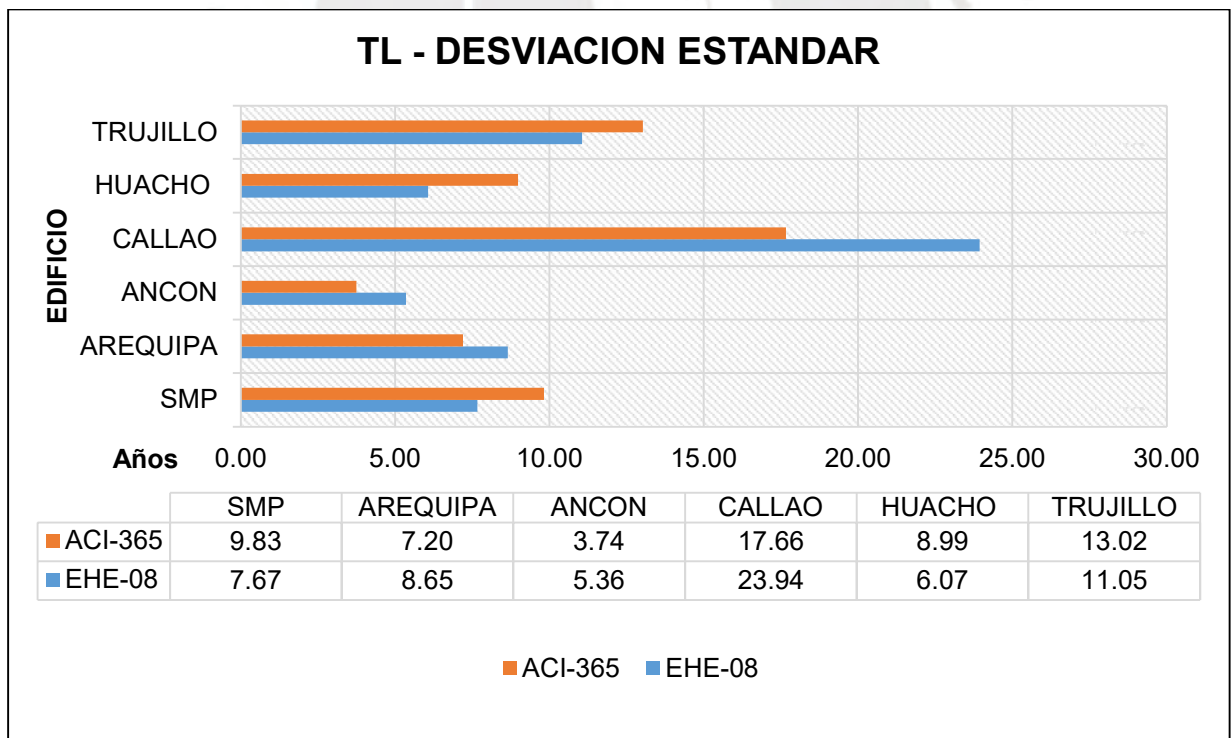
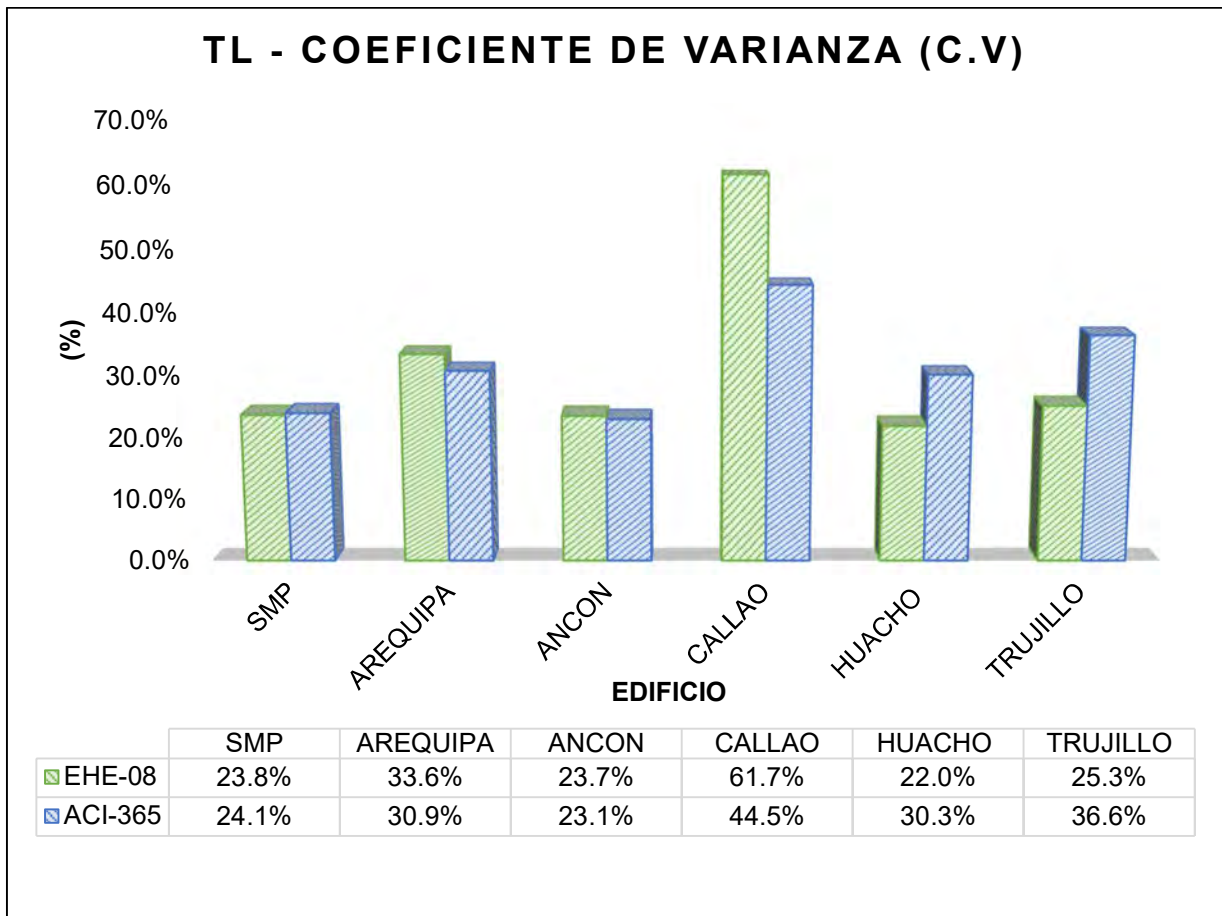


Figura 41. Grafica de barras agrupadas para ambos modelos predictivos – Desviación estándar media.



**Figura 42.** Grafica de columnas agrupadas para ambos modelos predictivos – Coeficiente de variación (%).



Nota. Fuente Propia.

En función a los parámetros de dispersión obtenidos para ambos modelos podemos afirmar lo siguiente;

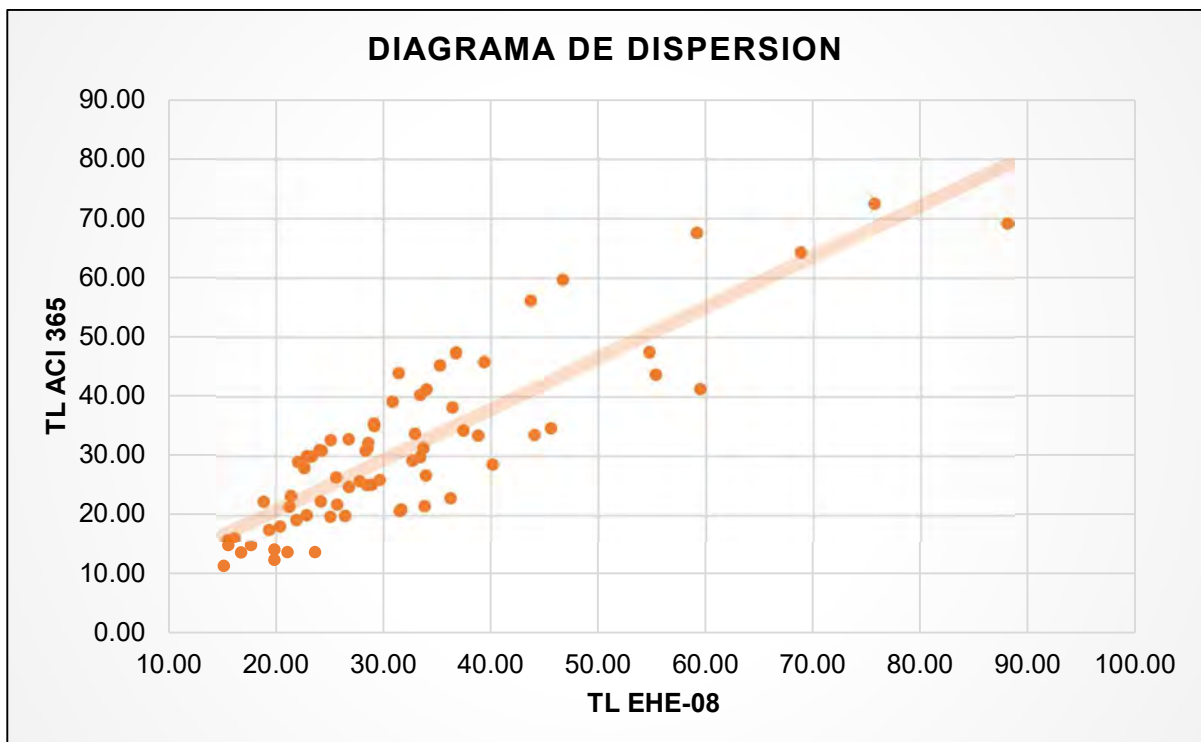
- De acuerdo a la media o promedio aritmético obtenido para las edificaciones, el modelo AMERICANO ACI-365 es más conservador en 03 de los casos (B, C y F). Los menores periodos obtenidos son del caso Edificio C – Ancón con una media de 22.61 y 16.20 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente. Los mayores periodos obtenidos se encuentran en el caso Edificio F- Trujillo con una media de 43.69 y 35.60 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente.

- De acuerdo a la desviación estándar obtenida para las edificaciones, el modelo EUROPEO EHE-08 en los casos A, E y F presenta una menor dispersión, por otro lado, en los casos B, C y F, el modelo americano ACI-365 presenta una menor dispersión. Las menores dispersiones obtenidas son del caso Edificio C – Ancón con valores de 3.74 y 5.36 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente. Las mayores dispersiones obtenidas se encuentran en el caso Edificio D- Callao con valores de 17.66 y 23.94 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente.
- De acuerdo a los coeficientes de variación obtenidos para las edificaciones, el modelo EUROPEO EHE-08 en los casos A, E y F presenta una menor % de variación, por otro lado, en los casos B, C y F, el modelo americano ACI-365 presenta una menor variación. Las mínimas variaciones obtenidas se presentan en el caso Edificio C – Ancón con valores de 23.7% y 23.1% para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente. Las máximas variaciones obtenidas se encuentran en el caso Edificio D- Callao con valores de 61.7% y 44.5% para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente.

#### 4.1.5.2 Correlación de Pearson

Se realiza una comprobación de la correlación entre ambos modelos, para verificar si se encuentran en una relación lineal. En la figura 43, se presenta un diagrama de dispersión con la base de datos de los 144 periodos calculados (72 por cada modelo). Donde se aprecia la relación lineal “positiva”.

**Figura 43.** Grafica de diagrama de dispersión de los periodos calculados para ambos modelos.



*Nota.* Los datos se extraen de las tablas de resultados obtenidos en el ítem 4.1.4.1 y 4.1.4.2. Fuente Propia.

Ahora se calcula el coeficiente de correlación de Pearson mediante la siguiente expresión:

$$\rho_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde:  $\rho_{xy}$  es la correlación de Pearson,  $Cov_{xy}$  es la covarianza de ambas variables y  $\sigma_x, \sigma_y$  es la desviación estándar media de cada variable.

**Tabla 77.** Resumen del coeficiente de correlación de Pearson obtenido para ambos modelos.

	<b>TL (EHE-08)</b>	<b>TL (ACI 365)</b>
<b>TL (EHE-08)</b>	1	
<b>TL (ACI 365)</b>	0.8604	1

Nota. Fuente Propia.

Se realiza una prueba de hipótesis para afirmar la correlación entre ambos métodos:

Si:  $\rho_{xy}=0$  (no existe correlación lineal).

$\rho_{xy} \neq 0$  (Existe correlación lineal).

Se calcula la siguiente expresión:

$$t = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}}; \text{ donde } n \text{ es } 72 \text{ y } \alpha \text{ es } 5\% \text{ (significancia)}$$

Se obtuvo  $t = 14.1269$ .

Y compararlo con:

$$t\left(\frac{\alpha}{2}, n-2\right) = \text{distribución normal de } t\text{-student, para dos variables.}$$

$$t\left(\frac{\alpha}{2}, n-2\right) = 1.9944.$$

Entonces se puede afirmar que existe una correlación lineal entre ambos métodos, y además son métodos muy similares debido a la cercanía del coeficiente a la unidad (1).

### 4.1.5.3 Metodo de varianza o ANOVA

Se realiza la comprobación mediante el metodo de varianza para verificar el nivel de significancia entre ambos modelos por cada edificación.

**Paso 1:** Se agrupan los valores obtenidos por tipo de edificio y modelo aplicado, dándonos 12 columnas de datos con 12 periodos calculados, en donde mediante las siguientes expresiones, de acuerdo a la tabla 78 se obtienen los parámetros.

**Tabla 78.** Resumen de parámetros estadísticos para el cálculo del factor F.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$k-1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k-1}$	$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$N-k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N-k}$	
Total	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$	$N-1$		

*Nota.* Botero Arbelaez, Arbelaez Salazar, & Mendoza Vargas (2007)

Se establece una hipótesis donde, si la hipótesis es nula es porque no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos. Ahora, se procede a calcular el factor F, el cual es la razón entre la variación entre grupos y la variación dentro de grupos. Luego, se compara el valor obtenido F con el valor crítico calculado, para rechazar la hipótesis nula propuesta.

En la siguiente tabla 79 se obtiene el resultado del cálculo de los parámetros expuestos en la tabla 78.

**Tabla 79.** Resumen de parámetros estadísticos obtenidos en para cada caso de estudio.

<b>Grupos</b>	<b>Código</b>	<b>Cuenta</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>Varianza</b>
EDIFICIO A - EHE-08	A1	12	386.44	32.20	58.78
EDIFICIO A - ACI 365	A2	12	489.42	40.79	96.58
EDIFICIO B - EHE-08	B1	12	309.23	25.77	74.82
EDIFICIO B - ACI 365	B2	12	279.67	23.31	51.87
EDIFICIO C - EHE-08	C1	12	271.35	22.61	28.68
EDIFICIO C- ACI 365	C2	12	194.34	16.20	14.02
EDIFICIO D - EHE-08	D1	12	465.68	38.81	573.04
EDIFICIO D - ACI 365	D2	12	475.74	39.65	311.84
EDIFICIO E - EHE-08	E1	12	330.51	27.54	36.88
EDIFICIO E - ACI 365	E2	12	355.96	29.66	80.75
EDIFICIO F - EHE-08	F1	12	524.29	43.69	122.17
EDIFICIO F - ACI 365	F2	12	427.18	35.60	169.59

Nota. Fuente propia.

En la tabla 80, se presentan un resumen de los resultados obtenidos en el metodo de varianza o ANOVA. Donde se rechaza la hipótesis nula ( $6.499 > 1.862$ ) y se confirma que existe diferencias significativas entre las medias de grupo. Sin embargo, se realiza una prueba Tukey, para calcular la diferencia mínima significativa entre las medias de todos los pares de grupos.

**Tabla 80.** Resumen de parámetros estadísticos obtenidos en para cada caso de estudio.

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	9644.44	11	876.77	6.499	1.4276E-08	1.862
Dentro de los grupos	17809.13	132	134.92			
Total	27453.58	143				

Nota. Fuente propia.

Para la aplicación del metodo Tukey, se utiliza la siguiente expresion:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N - k) \sqrt{CM_E/n_i}$$

Donde:  $q_{\alpha}(k, N - k)$  es el cuantil de la distribución de Tukey (Ver Figura 44), “k” es el grado de libertad entre las muestras, “N-k” es el grado de

libertas dentro de las muestras,  $CM_E$  es el cuadrado medio error dentro de las muestras y " $n_i$ " la cantidad de grupos.

Figura 44. Grafica de datos para elección de cuantiles de la distribución de Tukey  $q_{\alpha}(k, N - k)$ .

$\alpha = 0.05$	$n$													
$m$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	6.08	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.03	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.67
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43
21	2.94	3.56	3.94	4.21	4.42	4.60	4.74	4.87	4.98	5.08	5.17	5.25	5.33	5.40
22	2.93	3.55	3.93	4.20	4.41	4.58	4.72	4.85	4.96	5.06	5.14	5.23	5.30	5.37
23	2.93	3.54	3.91	4.18	4.39	4.56	4.70	4.83	4.94	5.03	5.12	5.20	5.27	5.34
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32
25	2.91	3.52	3.89	4.15	4.36	4.53	4.67	4.79	4.90	4.99	5.08	5.16	5.23	5.30
26	2.91	3.51	3.88	4.14	4.35	4.51	4.65	4.77	4.88	4.98	5.06	5.14	5.21	5.28
27	2.90	3.51	3.87	4.13	4.33	4.50	4.64	4.76	4.86	4.96	5.04	5.12	5.19	5.26
28	2.90	3.50	3.86	4.12	4.32	4.49	4.62	4.74	4.85	4.94	5.03	5.11	5.18	5.24
29	2.89	3.49	3.85	4.11	4.31	4.47	4.61	4.73	4.84	4.93	5.01	5.09	5.16	5.23
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21
31	2.88	3.48	3.84	4.09	4.29	4.45	4.59	4.71	4.81	4.90	4.99	5.06	5.13	5.20
32	2.88	3.48	3.83	4.09	4.28	4.45	4.58	4.70	4.80	4.89	4.98	5.05	5.12	5.18
33	2.88	3.47	3.83	4.08	4.28	4.44	4.57	4.69	4.79	4.88	4.97	5.04	5.11	5.17
34	2.87	3.47	3.82	4.07	4.27	4.43	4.56	4.68	4.78	4.87	4.96	5.03	5.10	5.16
35	2.87	3.46	3.81	4.07	4.26	4.42	4.56	4.67	4.77	4.86	4.95	5.02	5.09	5.15
36	2.87	3.46	3.81	4.06	4.25	4.41	4.55	4.66	4.76	4.85	4.94	5.01	5.08	5.14
37	2.87	3.45	3.80	4.05	4.25	4.41	4.54	4.66	4.76	4.85	4.93	5.00	5.07	5.13
38	2.86	3.45	3.80	4.05	4.24	4.40	4.53	4.65	4.75	4.84	4.92	4.99	5.06	5.12
39	2.86	3.45	3.79	4.04	4.24	4.39	4.53	4.64	4.74	4.83	4.91	4.98	5.05	5.11
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11
41	2.86	3.44	3.79	4.03	4.23	4.38	4.51	4.63	4.73	4.82	4.90	4.97	5.04	5.10
42	2.85	3.44	3.78	4.03	4.22	4.38	4.51	4.62	4.72	4.81	4.89	4.96	5.03	5.09
43	2.85	3.43	3.78	4.03	4.22	4.37	4.50	4.62	4.72	4.80	4.88	4.96	5.02	5.08
44	2.85	3.43	3.78	4.02	4.21	4.37	4.50	4.61	4.71	4.80	4.88	4.95	5.02	5.08
45	2.85	3.43	3.77	4.02	4.21	4.36	4.49	4.61	4.70	4.79	4.87	4.94	5.01	5.07
46	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.49	4.60	4.70	4.79	4.87	4.94	5.00	5.06
47	2.85	3.42	3.77	4.01	4.20	4.36	4.48	4.60	4.69	4.78	4.86	4.93	5.00	5.06
48	2.84	3.42	3.76	4.01	4.20	4.35	4.48	4.59	4.69	4.78	4.86	4.93	4.99	5.05
49	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.35	4.48	4.59	4.69	4.77	4.85	4.92	4.99	5.05
50	2.84	3.42	3.76	4.00	4.19	4.34	4.47	4.58	4.68	4.77	4.85	4.92	4.98	5.04

Nota. Botero Arbelaez, Arbelaez Salazar, & Mendoza Vargas (2007)

Finalmente, se compara el coeficiente de Tukey con la diferencia muestral para cada par de grupos, es decir: A1 es el caso de Edificio A – Modelo EHE-08 y A2 es el caso de Edificio A – Modelo ACI 365, y así sucesivamente hasta llegar al caso del Edificio F.

$$\begin{aligned}
 k &= 12 \\
 N-k &= 132 \\
 CME &= 134.917689 \\
 n_i &= 12 \\
 q\alpha(k, N-k) &= 4.35
 \end{aligned}$$

$$T\alpha = 14.5858949$$

**Tabla 81.** Resumen de resultados del metodo Tukey para el caso de estudio.

Diferencia poblacional	Diferencia muestral	T $\alpha$ (Coeficiente Tukey)	Decisión
$\mu A1 - \mu A2$	8.582	< 14.5858	No significativo
$\mu B1 - \mu B2$	2.463	< 14.5858	No significativo
$\mu C1 - \mu C2$	6.417	< 14.5858	No significativo
$\mu D1 - \mu D2$	0.839	< 14.5858	No significativo
$\mu E1 - \mu E2$	2.121	< 14.5858	No significativo
$\mu F1 - \mu F2$	8.093	< 14.5858	No significativo

Nota. Fuente propia.

Por lo tanto, se puede afirmar que existe nivel significancia entre los modelos EHE-08 y ACI-365, principalmente en los edificios B, D y E.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo expuesto en la presente investigación, se puede enunciar las siguientes conclusiones:

Para la estimación de la resistencia característica media, se puede afirmar que el metodo I nos brindó resultados con un coeficiente de variación (C.V %) de 5% menos que el obtenido en el metodo II; por lo tanto, para este caso de estudio se adoptó los valores de resistencia característica promedio ( $f_{ck, is}$ ) del metodo I – Comité ACI 562-13.

Para el cálculo de la concentración de cloruros en superficies de concreto, se puede afirmar que hay una relación directa del Cc (%) a la relación a/c del concreto utilizado. El caso del edificio “B” que presenta la mejor calidad de concreto, presenta un promedio de 0.5% de Cc en función al peso del cemento, el cual es el menos critico de todos los casos.

Para la elección del fenómeno de degradación predominante, podemos afirmar que el fenómeno escogido es el de ataque de cloruros debido a la mayoría de casos severos encontrados, a pesar de que existen el 67% (4 de 6) de casos con avance de carbonatación con afección “Alta” a “Severa” no son el 100% de los edificios.

De acuerdo a la media o promedio aritmético obtenido para las edificaciones, el modelo AMERICANO ACI-365 es más conservador en 03 de los casos (B, C y F). Los menores periodos obtenidos son del caso Edificio C – Ancón con una media de 22.61 y 16.20 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente. Los mayores periodos obtenidos se encuentran en el caso Edificio F- Trujillo con una media de 43.69 y 35.60 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente.

De acuerdo a la desviación estándar obtenida para las edificaciones, el modelo EUROPEO EHE-08 en los casos A, E y F presenta una menor dispersión, por otro lado, en los casos B, C y F, el modelo americano ACI-365 presenta una menor dispersión. Las menores dispersiones obtenidas son del caso Edificio C – Ancón con valores de 3.74 y 5.36 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente. Las mayores dispersiones obtenidas se encuentran en el caso Edificio D- Callao con valores de 17.66 y 23.94 para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente.

De acuerdo a los coeficientes de variación obtenidos para las edificaciones, el modelo EUROPEO EHE-08 en los casos A, E y F presenta una menor % de variación, por otro lado, en los casos B, C y F, el modelo americano ACI-365 presenta una menor variación. Las mínimas variaciones obtenidas se presentan en el caso Edificio C – Ancón con valores de 23.7% y 23.1% para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente. Las máximas variaciones obtenidas se encuentran en el caso Edificio D- Callao con valores de 61.7% y 44.5% para los modelos EHE-08 y ACI-365 respectivamente.

En función a la correlación de Pearson aplicada, se puede afirmar que existe una correlación lineal entre ambos métodos, y además son métodos muy similares debido a la cercanía del coeficiente ( $\rho=0.8604$ ) a la unidad.

En función al método ANOVA, se puede afirmar que existe una relación no nula de significancia entre los modelos EHE-08 y ACI-365, dado que el coeficiente Tukey adoptado ( $T\alpha =14.585$ ) comparando la diferencia muestral donde se obtiene que el 100% no tiene una diferencia significativa entre cada método, principalmente en los edificios B, D y E.

Finalmente, de acuerdo a lo mencionado anteriormente. Ambos métodos presentan resultados muy similares y sus medidas de dispersión también son semejantes. Sin embargo, el modelo europeo EHE-08 es más directo en aplicación y forma. Por lo tanto, es la principal elección para este estudio.

De acuerdo a lo expuesto en la presente investigación, se puede enunciar las siguientes recomendaciones:

Se recomienda continuar con la línea de investigación, principalmente para la predicción de modelos predictivos en función a las nuevas técnicas de concentración de cloruros inducidos para el avance de la corrosión mediante el coeficiente de difusión y ejecutar un modelo de elementos finitos inducido al fenómeno de corrosión por ataque de cloruros para analizar su degradación a través del tiempo.

Al identificar el medio y las condiciones ambientales de una nueva construcción, es importante realizar ensayos preliminares con puedan brindar los datos necesarios para conocer la concentración de cloruros en el suelo y/o ambiente, por lo tanto, se recomienda ejecutar uno de los dos modelos predictivos para conocer la proyección de vida útil y poder optimizar cada proyecto. En función al espesor del recubrimiento, calidad del concreto y protecciones anticorrosivas.

Es importante reconocer que, en términos de durabilidad, nuestra normativa no es tan “exigente”, como sí lo son en otras partes del mundo. Principalmente a nivel de Europa y Norteamérica, tal como se ha demostrado en esta investigación. Por lo tanto, se recomienda a los consultores y constructores, documentarse con diferentes normativas internacionales para mejorar las condiciones de durabilidad en sus proyectos. En el anexo A: Se presenta una guía instructiva para el uso del modelo europeo EHE-08, con fines aplicativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACI Committee 365.1R. (2017). *Report on service life prediction*. Miami, Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Alinaghimaddah, S., Hasandoost, A. A., Karimi, A., & Safiey, A. (2023). Probabilistic study of strength and cover effects on reinforced concrete chloride corrosion. *Asian Journal of Civil Engineering*(24), 937-945.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s42107-022-00543-8>
- Alla, A. (2016). *Analisis comparativo de normativas: "ACI 318-14 y EHE-08" (tesis de pregrado)*. Universidad de Coruña, La Coruña, España.
- Ancori Torobeo, L. S., & Tenorio Palomino, M. G. (2021). *"Estudio de la efectividad de tres tipos de inhibidores de corrosión para la protección de estructuras de concreto (tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima.
- Andrade, C. (1992). Vida útil de estructuras de hormigón armado: obras nuevas y deterioradas. *Seminário Internacional EPUSP/FOSROC sobre Patologia de Estruturas de Concreto* (págs. 100-16). San Pablo, Brasil: Anais.
- Andrade, C. (2013). Especificaciones de cálculo de la vida útil y estado límite de corrosión. *Revista ALCONPAT*, 3(2), 82-101.
- Botero Arbelaez, M., Arbelaez Salazar, O., & Mendoza Vargas, J. (2007). Metodo ANOVA utilizado para realizar estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medicion. *Scientia et Technica* , 533-537.
- Browne, R. (1980). Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design, Inspection and Repair of Offshore an Coastal Structures. En A. P. SP-65, *Performance of Concrete in Marine Enviornment* (págs. 169-204). V.M. Malhotra.
- Carmona, A., & Marega , A. (1988). Retrospectiva de la patología en Brasil: Estudio estadístico. *Jornadas en Español y Portugués sobre Estructuras y Materiales* (págs. 100-23). Madrid, España: ColLoquia 88.
- Cerna, M., & Galicia, W. (2010). *Vida util en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material (tesis de pregrado)*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Peru.
- Colleparidi, M. (1980). *Scienza y Tecnologia del Calcestruzzo*. Milano, Italia: Urico Hoepli.

- De Vera, G., Climent, M., Viqueira, E., & Anton, C. (2015). Chloride Penetration Prediction in Concrete through an empirical Model Based on Constant Flux Diffusion. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(8), 1-9.
- Emmons, P. (2005). *Manual ilustrado de Reparacion y Mantenimiento del concreto*. Florida, Mexico: Miembro de la Camara Nacional de la Industria Editorial.
- Fernandez, A., & Howland, J. (2017). Métodos para determinar la resistencia característica a compresión en estructuras construidas. *Revista de Arquitectura e Ingenieria*, 11(2), 1-9.
- Fernandez, S. (2016). *Corrosion de armaduras en el hormigon armado en ambiente marino aereo*. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Helene, P. (1997). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. La Habana, Cuba: IMCYC.
- Helene, P. (1993). *Contribución al estudio de la corrosión en armaduras de hormigón armado (tesis de libre docencia)*. Universidad de Sao Paulo, San Pablo, Brasil.
- Helene, P., & Pereira, F. (2003). *Manual de Rehabilitacion de Estructuras de Hormigon Reparacion, Refuerzo y Proteccion*. Sao Paulo, Brasil: SmartSystem Consulting Ltda.
- Helene, P., & Pereira, F. (2007). *Rehabilitacion y mantenimiento de estructuras de concreto*. Sao Paulo, Brasil: SmartSystem Consulting Ltda.
- INDECOPI. (2011). *PNT 339.059 HORMIGÓN (CONCRETO). Método para la obtención y ensayo de corazones diamantino y vigas seccionadas de hormigón (Concreto)*. Lima.
- Jung, S.-H., Yang, H.-M., Yang, K.-H., & Kwon, S.-J. (2018). Maintenance for Repaired RC Column Exposed to Chloride Attack Based on Probability Distribution of Service Life. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12-22. doi:<https://doi.org/10.1186/s40069-018-0259-2>
- Mangat, P., & Molloy, B. (1994). Prediction of long term chloride concentration in concrete. *Materials and structures*(27), 338-346.
- Ministerio de Fomento. (2008). *Instruccion de Hormigon Estructural EHE-08*. Madrid, España: Ministerio de Fomento.
- Ministerio de vivienda, construccion y saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Peru: Macro.
- Morinaga, S. (1990). Prediction of service lives of reinforced concrete buildings based on the corrosion rate of reinforcing steel. *Fifth International Conference*

*on Durability of Buildings Materials and Components* (págs. 5-16). Brighton, United Kingdom: Baker, Nixon.

- Muñoz Salinas, F., & Mendoza Escobedo, C. J. (2012). La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto. *Concreto y Cemento, Investigacion y Desarrollo, IV(1)*, 63-86.
- Nmai, C. (2000). Recent developments in the design of reinforced concrete structures for long service lives from a corrosion perspective. *42º Congresso Brasileiro do concreto*. Fortaleza, Brasil: Anais.
- Page, C. (1982). Aspects of the electrochemistry of steel in concrete. *Nature(297)*, 109-15.
- Pajuelo, G. (2021). *Estudio del modelo semiprobabilistico para la estimacion de la vida util residual en estructuras de plantas industriales en concreto armado con problemas de corrosion*. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima.
- Perez, L. R. (2010). *Vida util residual de estrcuturas de hormigon armado afectadas por corrosion (tesis de maestria)*. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España.
- Rodriguez, J., & Andrade, C. (1990). Influencia de la corrosion de las armaduras en la capacidad portante de las estructuras de hormigon armado. *Hormigon y Acero, 41(175)*, 119-125.
- Song, H.-W., Kim, H.-J., Kwon, S.-J., Lee, C.-H., Byun, K.-J., & Park, C.-K. (2007). Prediction of service life in cracked reinforced concrete structures subjected to chloride attack and carbonation. *Yonsei University, 767-775*.
- Sotomayor, C. (2016). Diagnostico de deterioros en estructuras de concreto armado. En C. P. Concreto, *Diagnostico y Reparacion de estructuras de concreto armado atacadas por corrosion* (págs. 6 -26). Lima, Peru: ACI PERU.
- Torres, J., Andrade, C., & Sanchez, J. (2020). Periodo de iniciación de la corrosión por ión cloruro según la EHE 08 en elementos de hormigón fisurados. *Informes de la Construcción, 72(557)*. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.70275>
- Tuutti, K. (1982). *Corrosion of Steel in Concrete*. Stockholm, Sweden: Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- Vidaud Quintana, E. (2014). DURABILIDAD: Niveles críticos de cloruros en el concreto. *Construccion y Tecnologia en Concreto, 12*.

# ANEXOS

## 7.1 ANEXO A: GUIA DE USO PARA MODELO EUROPEO EHE-08

La presente guía, tiene como objetivo facilitar el cálculo de la predicción de vida útil de los elementos de concreto armado afectados por corrosión ante ataque de cloruros, para lo cual se presenta el siguiente procedimiento:

Para la correcta aplicación del modelo predictivo, es necesario obtener características mecánicas y parámetros del elemento a evaluar, tales como: resistencia a la compresión del concreto mediante testigos diamantinos ( $f_{ci,corr}$ ), concentración de cloruros en la superficie del concreto  $C_c(\%)$ , recubrimiento del concreto in-situ ( $r$ ) y diámetro del refuerzo principal ( $\theta$ ).

### **A. Obtención de la resistencia característica promedio $f_{ck,is}$**

Al obtener los  $f_{ci,corr}$  (valores obtenidos del laboratorio), se debe aplicar el método para estimar la resistencia característica promedio  $f_{ck,is}$  expuesto en el Comité ACI 562.13.

**Paso 1:** Calcular el " $f_{cm,is}$ ", el cual es el promedio aritmético de los  $f_{ci,corr}$ .

$$f_{cm,is} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci,corr}$$

**Paso 2:** Calcular el coeficiente de variación de los valores  $f_{ci,corr}$ .

Coeficiente de variación:  $V = \frac{\delta m}{f_{cm,is}}$

Donde:

$\delta m$  es la desviación estándar media.

**Paso 3:** Asignar el parámetro “kc” de acuerdo a la tabla A.1, en función al número de especímenes “n”.

**Paso 4:** Aplicar la expresión para el cálculo de “ $f_{ck, is}$ ”, es la resistencia característica promedio.

$$f_{ck, is} = 0.9f_{cmis} \left[ 1 - 1.28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n} + 0.0015} \right]$$

Para:

V: Coeficiente de variación para el grupo de resultados obtenidos.

kc: Modificación de V de acuerdo a tabla A1.

**Tabla 82.** Valores de modificación del coeficiente de variación (kc).

n	kc
2	2.4
3	1.47
4	1.28
5	1.2
6	1.15
8	1.1
10	1.08
12	1.06
16	1.05
20	1.03
25 o mas	1.02

*Nota.* Fuente: Fernandez & Howland (2017).

## **B. Cálculo de concentración de cloruros en superficie de concreto (% peso cemento)**

Al obtener la concentración de cloruros en la superficie de concreto, en función al % del concreto  $C_c(\%)$  (valor obtenido en el laboratorio) se procede a calcular el  $C_s(\%)$  para verificar el contenido crítico de cloruros  $C_{th}(\%)$  y si es aplicable el modelo predictivo por dicho fenómeno.

**Paso 5:** Elegir el Cth(%) de acuerdo a la naturaleza de la estructura de estudio de acuerdo a la Tabla B1.

**Tabla 83.** *Contenido crítico de cloruros (Cth).*

<b>Tipo de elemento</b>	<b>Contenido máximo de iones de cloruro solubles en agua en el concreto (porcentaje en peso del cemento)</b>
Concreto presforzado	0,06
Concreto armado que en servicio estará expuesto a cloruros	0,15
Concreto armado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1,00
Otras construcciones de concreto armado	0,30

*Nota.* Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2006)

**Paso 6:** Obtener la relación agua/ cemento (a/c) en función a la resistencia característica promedio ( $f_{ck, is}$ ) desde la tabla B.2.

**Tabla 84.** *Relación agua/cemento y la resistencia a la compresión.*

<b>Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Relación agua/cemento (a partir del peso)</b>	
	<b>Concreto sin aire incluido</b>	<b>Concreto con aire incluido</b>
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

*Nota.* Fuente ACI Committee 211 (1991).

En caso no se encuentre el valor  $f_{ck, is}$ , se recomienda realizar una extrapolación de valores o en su defecto aplicar la siguiente ecuación:

$$f'_{ck, is} = -674.35(a/c) + 679.21$$

**Paso 7 :** Estimar el contenido de cemento por m<sup>3</sup> de concreto en función a la relación a/c adoptada, mediante la tabla B3.

**Tabla 85.** Relación agua/cemento y el contenido de cemento por m<sup>3</sup>.

No.	Cantidades en kg/m <sup>3</sup>				Relación a/c
	Cemento	Agregado fino	Agregado Grueso	Agua	
1	446	752	1032	132	0.258
2	446	790	1083	128	0.288
3	381	784	1075	153	0.401
4	327	794	1088	164	0.502
5	297	791	1086	178	0.6
6	245	810	1107	185	0.753

*Nota.* Fuente Whiting (1988).

En caso no se encuentre el valor requerido, se recomienda realizar una extrapolación de valores o en su defecto aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Cont. cemento /m}^3 = -427.33(a/c) + 556.63$$

**Paso 8:** Aplicar expresion para obtener la concentración de cloruros en superficies de concreto en función al % de cemento C<sub>s</sub>(%).

$$C_s(\% \text{ peso de cemento}) = C_c(\% \text{ peso de concreto}) * \left( \frac{2300}{\text{Cont. de cemento}} \right)$$

**Paso 9:** Verificar si el C<sub>s</sub>(%) obtenido, cumple o no con el contenido critico de cloruros C<sub>th</sub>(%). En caso sea C<sub>s</sub> < C<sub>th</sub>, se termina el procedimiento debido a que la estructura no estaría sometida a una afección por ataque de cloruros. Si C<sub>s</sub> > C<sub>th</sub>, continua el procedimiento.

### C. Cálculo del periodo de incubación o iniciación

**Paso 10:** Obtener el coeficiente de difusión a la edad “to”  $D(t_0)$  en función a la relación  $a/c$ , mediante la tabla C1.

**Tabla 86.** Valores de coeficiente de difusión  $D_{(t_0)}$  ( $\times 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s)

Tipo de cemento	a/c=0.40	a/c=0.45	a/c=0.50	a/c=0.55	a/c=0.60
CEM I	8.9	10.0	15.8	19.7	25.0
CEM II/A-V	5.6	6.9	9.0	10.9	14.9
CEM III	1.4	1.9	2.8	3.0	3.4

Nota. Fuente: Alla (2016).

En caso no se encuentre el valor requerido, se recomienda realizar una extrapolación de valores o en su defecto aplicar la siguiente ecuación:

$$D_{(t_0)} = 83.8 \left(\frac{a}{c}\right) - 26.02$$

**Paso 11:** Calcular el coeficiente de difusión  $D(t)$ , mediante la siguiente expresión:

$$D(t) = D_{(t_0)} \left(\frac{t_0}{t}\right)^n$$

Donde:

$D(t_0)$ : Coeficiente de difusión a la edad “to”.

$t_0$ : Adopta el valor de 0.0767.

$n$ : Adopta el valor de 0.5.

$t$ : Tiempo de vida útil adoptado por diseño, es de 55 años.

**Paso 12:** Calcular el coeficiente de penetración de cloruros  $K_{cl}$ , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$K_{cl} = \alpha \sqrt{12D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th} - C_b}{C_s - C_b}}\right)$$

Donde:

$\alpha$ : Adopta el valor de 56157.

$C_b$ : Concentración de cloruros aportado por las materias primas (en condiciones normales debe de ser 0).

$C_{th}$ : Contenido crítico de cloruros.

$C_s$ : Concentración de cloruros en superficie de concreto (en función al peso del cemento).

$D(t)$ : Coeficiente de difusión.

**Paso 13:** Obtener el periodo de iniciación y/o incubación ( $t_i$ ) del modelo, mediante la siguiente expresión:

$$t_i = (r/K_{cl})^2$$

Donde:

$r$ : Recubrimiento del concreto in-situ.

#### **D. Cálculo del periodo de incubación o iniciación**

**Paso 14:** Obtener el periodo de propagación ( $t_p$ ) del modelo, mediante la siguiente expresión:

$$t_p = \frac{80}{\emptyset} * \frac{r}{V_{corr}}$$

Donde:

r: Recubrimiento del concreto in-situ.

Ø: Diámetro de refuerzo principal in-situ.

$V_{corr}$ : Velocidad de corrosión (Ver Tabla D1).

**Tabla 87.** Velocidad de corrosión de acuerdo a la exposición.

Clase general de exposición		Vcorr (µm/año)	
Normal	Humedad alta	Ila	3
	Humedad media	Ilb	2
Marina	Aérea	IIIa	20
	Sumergida	IIIb	4
	En zona de mareas	IIIc	50
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	20

Nota. Fuente: Alla (2016).

#### **E. Obtención de predicción de vida útil**

**Paso 15:** Finalmente, calcular la predicción de la vida útil por ataque de cloruros mediante la siguiente expresión:

$$t_L = t_i + t_p$$

**7.2 ANEXO B: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION**





# Reporte de Ensayo Laboratorio Concreto RCTD

Código: P-OPE-001-F-40

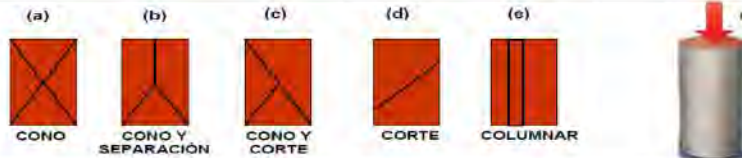
Revisión: 1

Fecha: 22/12/2022

Página: 1 de 1

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO DE NUCLEOS PERFORADOS  
(NORMA ASTM C39/C39M - 21 Y ASTM C42/C42M - 20)**PROYECTO:** ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO EN LA I.E. N°4015 AUGUSTO SALAZAR BONDY EN EL DISTRITO DE CARMEN DE LA LEGUA DISTRITO DE CARMEN DE LA LEGUA REYNOSO, PROVINCIA CONSTITUCIONAL DE CALLAO - CALLAO" - CUI 2510818**SOLICITANTE:** JAMT INGENIEROS E.I.R.L.**UBICACIÓN:** DISTRITO CARMEN DE LA LEGUA, PROVINCIA CALLAO Y DEPARTAMENTO CALLAO**N° CORRELATIVO:** CE-001

Código	Elemento	Fecha de Extracción del Testigo	Fecha Rotura	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kN)	Carga Máx. (kgf)	Relación (H/D)	Factor de Corrección	f'c Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido	Tipo de Falla
001	COLUMNA D-1 - NIVEL 1	05/06/2023	11/06/2023	06	12.60	7.42	43.24	63.7	6492.1	1.70	0.97		150.1	145.6		c
002	COLUMNA D-2 - NIVEL 1	05/06/2023	11/06/2023	06	13.75	7.42	43.24	85.9	8761.9	1.85	0.99		202.6	200.6		d
003	COLUMNA D-3 - NIVEL 1	05/06/2023	11/06/2023	06	14.00	7.42	43.24	107.2	10932.8	1.89	0.99		252.8	250.3		b
004	VIGA D-4 - NIVEL 2	05/06/2023	11/06/2023	06	14.24	7.42	43.24	85.5	8714.2	1.92	0.99		201.5	199.5		c
005	VIGA D-5 - NIVEL 2	05/06/2023	11/06/2023	06	13.84	7.42	43.24	77.3	7879.9	1.87	0.99		182.2	180.4		c
006	VIGA D-6 - NIVEL 2	05/06/2023	11/06/2023	06	10.50	7.42	43.24	91.3	9306.9	1.42	0.95		215.2	204.5		b



Relación altura diámetro	Factor de corrección
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.97

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_**ELABORADO POR****APROBADO POR**

Firma:

JORGE FLORES ROMÁN  
JEFE DE LABORATORIO

Firma:

JULIO CESAR CASPELO FUENTES  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 122677

Nombre:

ARICAGEOS SOILS &amp; CONCRETE S.A.C.

Nombre:

ARICAGEOS SOILS &amp; CONCRETE

Fecha:

Fecha:



### Reporte de Ensayo Laboratorio Concreto RCTD

Código: P-OPE-001-F-40

Revisión: 1

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO DE NUCLEOS PERFORADOS (NORMA ASTM C39/C39M - 21 Y ASTM C42/C42M - 20)

Fecha: 22/12/2022

Página: 1 de 1

PROYECTO: ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR - FAMILIA PATRICIO

SOLICITANTE: JAMT INGENIEROS E.I.R.L.

UBICACIÓN: DISTRITO DE HUACHO - PROVINCIA DE HUAURA Y DEPARTAMENTO DE LIMA

Nº CORRELATIVO: CE-01

Código	Elemento	Fecha de Extracción del Testigo	Fecha Rotura	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kN)	Carga Máx. (kgf)	Relación (H/D)	Factor de Corrección	f'c Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido	Tipo de Falla
001	COLUMNA D-1	17/05/2023	23/05/2023	6	11.60	7.38	42.78	36.2	3691.4	1.57	0.97	210	86.3	83.7	39.9%	d
002	COLUMNA D-2	17/05/2023	23/05/2023	6	9.85	7.40	43.01	35.5	3619.2	1.33	0.94	210	84.1	79.1	37.7%	e
003	COLUMNA D-3	17/05/2023	23/05/2023	6	11.43	7.40	43.01	32.5	3315.4	1.54	0.96	210	77.1	74.0	35.2%	d
004	COLUMNA D-4	17/05/2023	23/05/2023	6	11.99	7.40	43.01	34.9	3560.5	1.62	0.97	210	82.8	80.3	38.2%	d
005	VIGA D-5	17/05/2023	23/05/2023	6	11.92	7.39	42.89	42.0	4280.2	1.61	0.97	210	99.8	96.8	46.1%	c
006	VIGA D-6	17/05/2023	23/05/2023	6	11.49	7.38	42.78	33.0	3368.9	1.56	0.96	210	78.8	75.6	36.0%	d

Relación H/D	Factor de corrección
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.91

OBSERVACIONES: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

ELABORADO POR

APROBADO POR

Firma:

Firma:

.....  
**JORGE FLÓRES ROMÁN**  
 JEFE DE LABORATORIO

.....  
**JULIO CESAR CASAPILLO FUENTES**  
 INGENIERO CIVIL

Nombre:

**ARICAGEOS SOILS & CONCRETE S.A.C.**

Nombre:

Reg. CIP N° 122877  
**ARICAGEOS SOILS & CONCRETE**

Fecha:

Fecha:

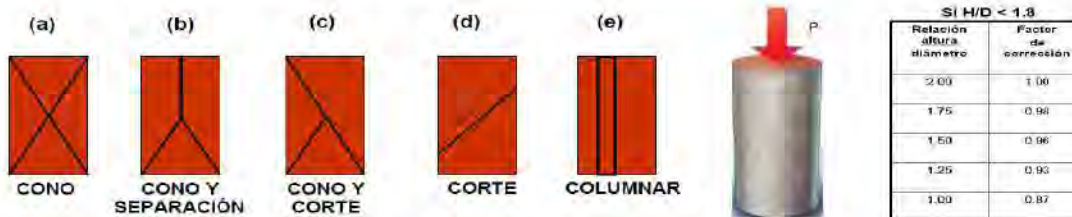
**PROYECTO:** ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR - FAMILIA BARRUETO

**SOLICITA:** JAMT INGENIEROS E.I.R.L.


**UBICACIÓN:** DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA - PROVINCIA DE TRUJILLO Y DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

**N° CORRELATIVO:** CD-01

Código	Elemento	Fecha de Extracción del Testigo	Fecha de Rotura	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kN)	Carga Máx. (kgf)	Relación (H/D)	Factor de Corrección	f <sub>c</sub> Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> Obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> Corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido	Tipo de Falla
D-001	COLUMNA D-1 - NIVEL 1	20/06/2023	25/06/2023	5	10.43	6.88	34.7	67.1	6842	1.52	0.96	210	197	189	90.2%	e
D-002	COLUMNA D-2 - NIVEL 1	20/06/2023	25/06/2023	5	9.36	6.89	34.7	79.5	8102	1.36	0.94	210	233	220	104.8%	e
D-003	COLUMNA D-3 - NIVEL 2	20/06/2023	25/06/2023	5	12.66	6.90	34.8	75.5	7700	1.83	0.99	210	221	218	103.9%	d
D-004	VIGA D-4 - NIVEL 1	20/06/2023	25/06/2023	5	11.04	6.90	34.8	60.3	6153	1.60	0.97	210	176.8	171.5	81.7%	e
D-005	VIGA D-5 - NIVEL 2	20/06/2023	25/06/2023	5	11.19	6.91	34.9	50.9	5188	1.62	0.97	210	148.6	142.7	68.0%	e
D-006	VIGA D-6 - NIVEL 2	20/06/2023	25/06/2023	5	10.76	6.90	34.8	49.0	4995	1.56	0.96	210	143.5	137.8	65.6%	d



**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ELABORADO POR	APROBADO POR
Firma:   <b>JORGE FLORES ROMÁN</b> JEFE DE LABORATORIO ARICAGEOS SOILS & CONCRETE S.A.C.	Firma:   <b>CSAR CASILLO FUENTES</b> INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 122877 ARICAGEOS SOILS & CONCRETE
Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:

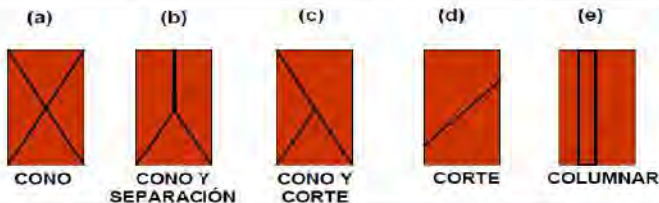
**PROYECTO:** "ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA NUEVO ACONDICIONAMIENTO DE DORMITORIOS PARA EL PERSONAL PERTENECIENTE A LA UNITSV LN1 PNP"

**SOLICITANTE:** JAMT INGENIEROS E.I.R.L.

**UBICACIÓN:** SAN MARTIN DE PORRES - LIMA

**N° CORRELATIVO:** CE-01

Código	Elemento	Fecha de Extracción del Testigo	Fecha Rotura	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kN)	Carga Máx. (kgf)	Relación (H/D)	Factor de Corrección	f'c Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido	Tipo de Falla
001	COLUMNA D-1 NIVEL 1	30/03/2023	5/04/2023	6	13.28	7.40	43.01	42.4	5200.7	1.79	0.98	210	120.9	118.5	46.9%	c
002	COLUMNA D-2 NIVEL 1	30/03/2023	5/04/2023	6	14.44	7.40	43.01	66.2	6745.7	1.95	1.00	210	156.8	156.8	74.7%	d
003	VIGA D-3 NIVEL 2	30/03/2023	5/04/2023	6	14.55	7.40	43.01	54.5	5561.1	1.97	1.00	210	129.3	129.3	61.6%	d
004	COLUMNA D-4 NIVEL 2	30/03/2023	5/04/2023	6	12.85	7.39	42.89	56.7	5785.8	1.74	0.98	210	134.9	132.2	63.0%	d
005	COLUMNA D-5 NIVEL 2	30/03/2023	5/04/2023	6	11.33	7.41	43.12	77.4	7894.6	1.53	0.96	210	183.1	175.7	83.7%	e
006	VIGA D-6 NIVEL 1	30/03/2023	5/04/2023	6	14.02	7.40	43.01	63.1	6430.5	1.89	0.99	210	149.5	148.0	70.5%	d


**OBSERVACIONES:** La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

**ELABORADO POR**

Firma:

  
 .....  
**JORGE FLORES ROMÁN**  
**JEFE DE LABORATORIO**  
**ARICAGEOS SOILS & CONCRETE S.A.C.**

Nombre:

Fecha:

**APROBADO POR**

Firma:

  
 .....  
**JULIO CESAR CASTILLO FUENTES**  
**INGENIERO CIVIL**  
**Reg. CIP N° 122877**

Nombre:

Fecha:

**ARICAGEOS SOILS & CONCRETE**



### Reporte de Ensayo Laboratorio Concreto RCTD

Código: P-OPE-001-F-40

Revisión: 1

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO DE NUCLEOS PERFORADOS (NORMA ASTM C39/C39M - 21 Y ASTM C42/C42M - 20)

Fecha: 22/12/2022

Página: 1 de 1

PROYECTO: ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR - FAMILIA GUTIERREZ

SOLICITANTE: JAMT INGENIEROS E.I.R.L.

UBICACIÓN: DISTRITO DE ANCON - PROVINCIA DE LIMA Y DEPARTAMENTO DE LIMA

Nº CORRELATIVO: CE-01

Código	Elemento	Fecha de Extracción del Testigo	Fecha Rotura	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kN)	Carga Máx. (kgf)	Relación (H/D)	Factor de Corrección	f'c Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido	Tipo de Falla
001	COLUMNA D-1	25/05/2023	02/06/2023	8	9.99	7.38	42.78	82.4	8405.3	1.35	0.94	210	195.4	183.7	87.5%	d
002	COLUMNA D-2	25/05/2023	02/06/2023	8	11.47	7.40	43.01	61.1	6227.9	1.55	0.96	210	144.8	139.0	66.2%	e
003	COLUMNA D-3	25/05/2023	02/06/2023	8	9.99	7.40	43.01	55.7	5678.2	1.36	0.94	210	132.0	124.1	59.1%	d
004	COLUMNA D-4	25/05/2023	02/06/2023	8	13.75	7.40	43.01	64.1	6537.5	1.86	0.99	210	152.4	150.9	71.9%	d
005	VIGA D-5	25/05/2023	02/06/2023	8	13.60	7.39	42.89	45.4	4628.0	1.84	0.99	210	107.9	106.8	50.9%	c
006	VIGA D-6	25/05/2023	02/06/2023	8	11.54	7.38	42.78	79.5	8109.2	1.56	0.96	210	188.5	181.0	86.2%	d

Relación H/D	Factor de corrección
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.91

OBSERVACIONES: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

ELABORADO POR

APROBADO POR

Firma:

JORGE FLÓRES ROMÁN  
JEFE DE LABORATORIO

Firma:

JULIO CESAR CASAPILLO FUENTES  
INGENIERO CIVIL

Nombre:

ARICAGEOS SOILS & CONCRETE S.A.C.

Nombre:

Reg. CIP N° 122877  
ARICAGEOS SOILS & CONCRETE

Fecha:

Fecha:



### Reporte de Ensayo Laboratorio Concreto RCTD

Código: P-OPE-001-F-40

Revisión: 1

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO DE NUCLEOS PERFORADOS (NORMA ASTM C39/C39M - 21 Y ASTM C42/C42M - 20)

Fecha: 22/12/2022

Página: 1 de 1

PROYECTO: ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR - FAMILIA PATRICIO

SOLICITANTE: JAMT INGENIEROS E.I.R.L.

UBICACIÓN: DISTRITO DE HUACHO - PROVINCIA DE HUAURA Y DEPARTAMENTO DE LIMA

Nº CORRELATIVO: CE-01

Código	Elemento	Fecha de Extracción del Testigo	Fecha Rotura	Edad (días)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kN)	Carga Máx. (kgf)	Relación (H/D)	Factor de Corrección	f'c Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Obtenido (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c Corregido (kg/cm <sup>2</sup> )	% Obtenido	Tipo de Falla
001	COLUMNA D-1	17/05/2023	23/05/2023	6	11.60	7.38	42.78	36.2	3691.4	1.57	0.97	210	86.3	83.7	39.9%	d
002	COLUMNA D-2	17/05/2023	23/05/2023	6	9.85	7.40	43.01	35.5	3619.2	1.33	0.94	210	84.1	79.1	37.7%	e
003	COLUMNA D-3	17/05/2023	23/05/2023	6	11.43	7.40	43.01	32.5	3315.4	1.54	0.96	210	77.1	74.0	35.2%	d
004	COLUMNA D-4	17/05/2023	23/05/2023	6	11.99	7.40	43.01	34.9	3560.5	1.62	0.97	210	82.8	80.3	38.2%	d
005	VIGA D-5	17/05/2023	23/05/2023	6	11.92	7.39	42.89	42.0	4280.2	1.61	0.97	210	99.8	96.8	46.1%	c
006	VIGA D-6	17/05/2023	23/05/2023	6	11.49	7.38	42.78	33.0	3368.9	1.56	0.96	210	78.8	75.6	36.0%	d

Relación H/D	Factor de corrección
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.91

OBSERVACIONES: La muestra fue remitida e identificada por el solicitante.

ELABORADO POR

APROBADO POR

Firma:

.....  
**JORGE FLÓRES ROMÁN**  
 JEFE DE LABORATORIO

Firma:

.....  
**JULIO CESAR CASAPILLO FUENTES**  
 INGENIERO CIVIL

Nombre:

**ARICAGEOS SOILS & CONCRETE S.A.C.**

Nombre:

**ARICAGEOS SOILS & CONCRETE**

Fecha:

Fecha:

**7.3 ANEXO C: ENSAYOS DE CONCENTRACION DE CLORUROS**





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 20-05-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-1	655
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-2	421
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-3	772
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-4	799
Ubicación:	Edificación A - SMP	

Lima, 07 de junio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
REPUBLICA DEL PERÚ  
Facultad de Ingeniería Civil II  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Accreditation  
Commission



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 20-05-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS
		Cl-
		ASTM D 512
TIPO DE MUESTRA:		AASHTO T 291
		ppm
Muestra:	M-5	714
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-6	450
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-7	534
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-8	813
Ubicación:	Edificación A - SMP	

Lima, 07 de junio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 20-05-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-9	684
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-10	682
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-11	699
Ubicación :	Edificación A - SMP	
Muestra:	M-12	494
Ubicación:	Edificación A - SMP	

Lima, 07 de junio del 2023

  
CARMEN M. REYES CÁRDENAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 20-05-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-1	325
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-2	1006
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-3	293
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-4	705
Ubicación:	Edificación B -AREQUIPA	

Lima, 07 de junio del 2023

  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 20-05-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-5	639
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-6	630
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-7	374
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-8	635
Ubicación:	Edificación B -AREQUIPA	

Lima, 07 de junio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 20-05-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-9	359
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-10	298
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-11	353
Ubicación :	Edificación B -AREQUIPA	
Muestra:	M-12	634
Ubicación:	Edificación B -AREQUIPA	

Lima, 07 de junio del 2023

  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Accreditation  
Commission



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 21-06-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-1	4150
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-2	1212
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-3	2609
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-4	1121
Ubicación:	Edificación C -ANCON	

Lima, 04 de julio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Accreditation  
Commission



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 21-06-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-5	1865
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-6	4395
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-7	2399
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-8	2568
Ubicación:	Edificación C -ANCON	

Lima, 04 de julio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 21-06-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl- ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
TIPO DE MUESTRA:		
Muestra:	M-9	1240
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-10	1140
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-11	2258
Ubicación :	Edificación C -ANCON	
Muestra:	M-12	1127
Ubicación:	Edificación C -ANCON	

Lima, 04 de julio del 2023

  
CARMEN M. REYES CÁRDENAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Accreditation  
Commission



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 21-06-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS
		Cl-
		ASTM D 512
TIPO DE MUESTRA:		AASHTO T 291
		ppm
Muestra:	M-1	837
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-2	456
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-3	469
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-4	945
Ubicación:	Edificación D -CALLAO	

Lima, 04 de julio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Accreditation  
Commission



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 21-06-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-5	861
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-6	456
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-7	924
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-8	866
Ubicación:	Edificación D -CALLAO	

Lima, 04 de julio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 21-06-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-9	751
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-10	934
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-11	825
Ubicación :	Edificación D -CALLAO	
Muestra:	M-12	811
Ubicación:	Edificación D -CALLAO	

Lima, 04 de julio del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRDENAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-08-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS
		Cl-
		ASTM D 512
TIPO DE MUESTRA:		AASHTO T 291
		ppm
Muestra:	M-1	449
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-2	705
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-3	416
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-4	696
Ubicación:	Edificación E -HUACHO	

Lima, 21 de agosto del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-08-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS
		Cl-
		ASTM D 512
TIPO DE MUESTRA:		AASHTO T 291
		ppm
Muestra:	M-5	695
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-6	600
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-7	520
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-8	408
Ubicación:	Edificación E -HUACHO	

Lima, 21 de agosto del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRDENAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-08-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-9	474
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-10	659
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-11	729
Ubicación :	Edificación E -HUACHO	
Muestra:	M-12	625
Ubicación:	Edificación E -HUACHO	

Lima, 21 de agosto del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil II  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-08-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS
		Cl-
		ASTM D 512
TIPO DE MUESTRA:		AASHTO T 291
		ppm
Muestra:	M-1	
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	555
Muestra:	M-2	
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	703
Muestra:	M-3	
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	634
Muestra:	M-4	
Ubicación:	Edificación F -TRUJILLO	553

Lima, 21 de agosto del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
Facultad de Ingeniería Civil  
REPUBLICA DEL PERÚ  
LIMA  
CARMEN M. REYES CÁRDENAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-08-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS
		Cl-
		ASTM D 512
TIPO DE MUESTRA:		AASHTO T 291
		ppm
Muestra:	M-5	421
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	
Muestra:	M-6	545
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	
Muestra:	M-7	490
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	
Muestra:	M-8	608
Ubicación:	Edificación F -TRUJILLO	

Lima, 21 de agosto del 2023

  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Código Postal: 15333, Perú  
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845  
Central Telefónica: 481-1070/Anexos: 4020 - 4003

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering  
Accreditation  
Commission



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

### LABORATORIO QUÍMICO FIC

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE : JAMT INGENIEROS EIRL

EXPEDIENTE : 23-1721

OBRA : EVALUACIÓN DE NORMATIVAS ACI 365 1R Y EHE-08 PARA LA PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL POR ATAQUE DE CLORUROS EN EDIFICIOS AFECTADOS POR CORROSIÓN

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 15-08-2023

ANÁLISIS DE:		CLORUROS Cl-
TIPO DE MUESTRA:		ASTM D 512 AASHTO T 291 ppm
Muestra:	M-9	735
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	
Muestra:	M-10	474
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	
Muestra:	M-11	660
Ubicación :	Edificación F -TRUJILLO	
Muestra:	M-12	502
Ubicación:	Edificación F -TRUJILLO	

Lima, 21 de agosto del 2023

  
CARMEN M. REYES CÁRBAS  
Dra. JEFA (e) DEL LABORATORIO  
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra